

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava
Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství
Katedra tváření materiálu

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2010

Pavel JANEČEK

Zadání bakalářské práce

Student: **Pavel Janeček**
Studijní program: B2109 Metalurgické inženýrství
Studijní obor: 2109R034 Technologie tváření a úpravy materiálu
Téma: **Návrh technologického postupu zápusťkového kování vidlicové příruby**

**Technological process proposal for flange pipe of propeller shaft
production by drop forging**

Zásady pro vypracování:

1. Teoretický rozbor problematiky vidlicových přírub (použití, požadavky, výrobní postupy)
2. Technologický postup zápusťkového kování vidlicové příruby
3. Návrh zápusťky pro kování příruby
4. Numerická simulace zápusťkového kování příruby a praktická verifikace
5. Mechanické a metalografické zkoušky zápusťkově kované příruby

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] HO, H., HSIANG, S., CHANY, CH. A study of improving warped characteristics during flange forging. *Journal of Materials Processing Technology*, 201, 2008, p. 14.
- [2] EBARA, R., KUBOTA, K. Failure analysis of hot forging dies for automotive components. *Engineering Failure Analysis*, 15, 2008, p. 881.
- [3] PARK, K. S., VAN TYNE, CH. J., MOON, Y. H. Process analysis of multistage forging by using finite element method. *Journal of Materials Processing Technology*, 187–188, 2007, p. 586.
- [4] SHELJASKOW, S. Tool lubricating system in warm forging. *Journal of Materials Processing Technology*, 113, 2001, p. 16.

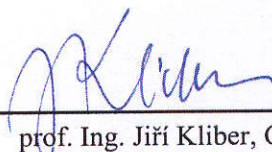
Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Radim Kocich, Ph.D.**

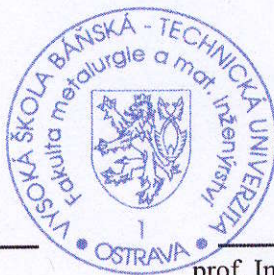
Konzultant bakalářské práce: **Ing. Pavel Havel**

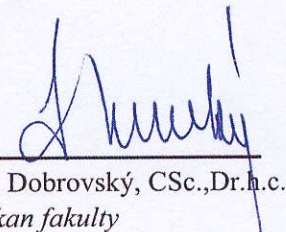
Datum zadání: 30.11.2009

Datum odevzdání: 21.05.2010


prof. Ing. Jiří Kliber, CSc.

vedoucí katedry




prof. Ing. Ludovít Dobrovský, CSc., Dr.h.c.
děkan fakulty

Zásady pro vypracování bakalářské práce

I.

Bakalářskou prací (dále jen BP) se ověřují vědomosti a dovednosti, které student získal během studia, a jeho schopnosti využívat je při řešení teoretických i praktických problémů.

II.

Uspořádání bakalářské práce:

- | | |
|--|------------------------------|
| 1. Titulní list + zásady pro vypracování BP | 5. Textová část BP |
| 2. Prohlášení + místopřísežné prohlášení | 6. Seznam použité literatury |
| 3. Abstrakt + klíčová slova česky a anglicky | 7. Přílohy |
| 4. Obsah BP | |

ad 1) Titulním listem je originál zadání BP, který student obdrží na své oborové katedře. Za titulním listem následují tyto „Zásady pro vypracování bakalářské práce“.

ad 2) Prohlášení + místopřísežné prohlášení napsané na zvláštním listě (student jej obdrží na své oborové katedře) a vlastnoručně podepsané studentem s uvedením data odevzdání BP. *V případě, že BP vychází ze spolupráce s jinými právníckými a fyzickými osobami a obsahuje citlivé údaje, je na zvláštním listě vloženo prohlášení spolupracující právnické nebo fyzické osoby o souhlasu se zveřejněním BP.*

ad 3) Abstrakt a klíčová slova jsou uvedena na zvláštním listě česky a anglicky v rozsahu max. 1 strany pro obě jazykové verze.

ad 4) Obsah BP se uvádí na zvláštním listě. Zahrnuje názvy všech očíslovaných kapitol, podkapitol a statí textové části BP, odkaz na seznam příloh a seznam použité literatury, s uvedením příslušné stránky. Předpokládá se desetinné číslování.

ad 5)

Textová část BP obvykle zahrnuje:

- Úvod, obsahující charakteristiku řešeného problému a cíle jeho řešení v souladu se zadáním BP;
- Vlastní rozpracování BP (včetně obrázků, tabulek, výpočtů) s dílčími závěry, vhodně členěné do kapitol a podkapitol podle povahy problému;
- Závěr, obsahující celkové hodnocení výsledků BP z hlediska stanoveného zadání.

BP nemusí obsahovat experimentální (aplikační) část.

BP bude zpracována v rozsahu min. 25 stran (včetně obsahu a seznamu použité literatury).

Text musí být napsán vhodným textovým editorem počítače po jedné straně bílého nelesklého papíru formátu A4 při respektování následující **doporučené** úpravy - písmo Times New Roman (nebo podobné) 12b; řádkování 1,5; okraje – horní, dolní – 2,5 cm, levý – 3 cm, pravý 2 cm. Fotografie, schémata, obrázky, tabulky musí být očíslovány a musí na ně být v textu poukázáno. Budou zařazeny průběžně v textu, pouze je-li to nezbytně nutné, jako přílohy (viz ad 7).

Odborná terminologie práce musí odpovídat platným normám. Všechny výpočty musí být přehledně uspořádány tak, aby každý odborník byl schopen přezkoušet jejich správnost. U

vzorců, údajů a hodnot převzatých z odborné literatury nebo z praxe musí být uveden jejich pramen - u literatury citován číselným odkazem (v hranatých závorkách) na seznam použité literatury.

Nedostatky ve způsobu vyjadřování, nedostatky gramatické, neopravené chyby v textu mohou snížit klasifikaci práce.

ad 6) BP bude obsahovat alespoň 10 literárních odkazů, z toho nejméně 3 v některém ze světových jazyků.

Seznam použité literatury se píše na zvláštním listě. **Citaci literatury je nutno uvádět důsledně v souladu s ČSN ISO 690.** Na práce uvedené v seznamu použité literatury musí být uveden odkaz v textu BP.

ad 7) Přílohy budou obsahovat jen ty části (speciální výpočty, zdrojové texty programů aj.), které nelze vhodně včlenit do vlastní textové části, např. z důvodu ztráty srozumitelnosti.

III.

Bakalářskou práci student odevzdá ve dvou knihařsky svázaných vyhotoveních, pokud katedra garantující studijní obor neurčí jiný počet. Vnější desky budou označeny takto:

nahoře: *Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava*
Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství
Katedra

uprostřed: *BAKALÁŘSKÁ PRÁCE*

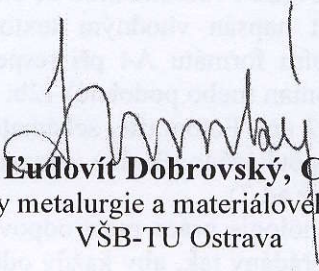
dole: *Rok* *Jméno a příjmení*

Kromě těchto dvou knihařsky svázaných výtisků odevzdá student kompletní práci také v elektronické formě do IS EDISON včetně abstraktu a klíčových slov v češtině a angličtině.

IV.

Bakalářská práce, která neodpovídá těmto zásadám, nemůže být přijata k obhajobě. Tyto zásady jsou závazné pro studenty všech studijních programů a forem bakalářského studia fakulty metalurgie a materiálového inženýrství Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava od akademického roku 2009/2010.

Ostrava 30. 11. 2009


Prof. Ing. Eudovít Dobrovský, CSc., Dr.h.c.
děkan fakulty metalurgie a materiálového inženýrství
VŠB-TU Ostrava

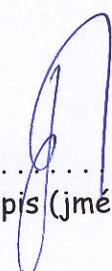
PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- jsem byl(a) seznámen(a) s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména §35 - užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního (§60 - školní dílo);
- беру на vědomí, že Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB - TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3);
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude archivována v elektronické formě v databázi Ústřední knihovny VŠB - TUO a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO;
- bylo sjednáno, že s VŠB - TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona;
- bylo sjednáno, že užít své dílo - bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB - TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB - TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- беру на vědomí, že odevzdáním své bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (Zákon o vysokých školách) bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Místopřísežně prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci vypracoval(a) samostatně.

V Ostravě 18.5.2010

 Pavel Janáček
.....
podpis (jméno a příjmení studenta)

Poděkování

Chtěl bych tímto poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Radimu Kocichovi, Ph.D. za jeho drahocenný čas, podnětné rady a připomínky při vypracování této bakalářské práce.

ABSTRAKT

Předmětem této bakalářské práce je návržení technologického postupu a kovacího zařízení zápusťového výkovku „vidlicové příruby“. Práce je zaměřena na způsob návržení tvaru výkovku, dělicí roviny a přídavek na opracování. Další část se věnuje návržení optimálního tvaru kovacích dutin zápusťek a následného ověření numerickou simulací kování. Cílem práce je praktická verifikace výsledků experimentu provedením kovací zkoušky a následného tepelného zpracování řízeným chladnutím výkovků.

Klíčová slova: vidlicová příruba, kloubový hřídel, zápusťové kování, zápusťka, simulace kování

ABSTRACT

The object of this bachelor thesis is the proposition of technological process and drop forging equipment for „flange pipe“. The work is focused on way of the proposition of the forging shape, dividing plane and machining allowance. Next part is about the proposition of the optimal die cavity shape and subsequent verification with the numerical forging simulation. The aim of work is practical verification of experiment results with the forging examination implementation and subsequent controlled cooling forgings heat treatment.

Key words: flange pipe, propeller shaft, drop forging, die, forging process simulation

OBSAH

1	Úvod.....	3
2	Teoretický rozbor problematiky vidlicových přírub.....	4
2.1	Použití vidlicových přírub	4
2.2	Požadavky na kloubové hřídele	4
2.2.1	Úhel ohybu	4
2.2.2	Kinematika hřídele	5
2.2.3	Uspořádání spojovacích hřídelí.....	6
2.2.4	Kritické otáčky	7
2.2.5	Technické parametry kloubového hřídele pro daný účel	7
2.3	Technické požadavky na vidlicovou přírubu.....	8
2.3.1	Charakteristiky oceli C45 (1.0503)	8
2.3.2	Charakteristiky oceli 41Cr4 (1.7035).....	9
3	Zápustkové kování	10
3.1	Materiály na zápustky	11
3.2	Mazání zápustek	13
3.2.1	Bílá maziva.....	13
3.2.2	Grafitová maziva	13
3.2.3	Výzkum a vývoj maziv	13
4	Technologický postup zápustkového kování vidlicové příruby	14
4.1	Návrh výkovku	14
4.1.1	Technologické přídavky a mezní úchytky	15
4.2	Technologický postup.....	18
4.2.1	Stanovení hmotnosti polotovaru.....	18
4.2.2	Výběr polotovaru.....	19
4.2.3	Specifikace materiálu	20
4.2.4	Dělení materiálu	21
4.2.5	Kování	22
4.2.6	Tepelné zpracování	24
4.2.7	Tryskání.....	24
4.2.8	Magnetoskopická kontrola trhlin	24
5	Návrh zápustky	25
5.1	Kovadla.....	25

5.2 První operace	25
5.3 Druhá operace	26
5.4 Dokovací zápustka	26
6 Simulace kování.....	27
6.1 Metoda konečných prvků	27
6.2 Simulace kování vidlicové příruby	28
6.3 Simulace první operace.....	28
6.4 Simulace druhá operace	29
6.5 Simulace dokovací zápustky.....	29
7 Mechanické zkoušky.....	30
8 Metalografické zkoušky.....	31
9 Závěr	33
Seznam použité literatury	35

1 Úvod

Vznik této bakalářské práce je datován do období hospodářské krize, která citelně zasáhla odvětví hutnictví a metalurgie. Výrazný pokles poptávky po výrobcích z oceli vede firmy ke snižování výrobních nákladů a zvyšování efektivity a produktivity procesů. Tato skutečnost se výrazně projevuje i v oblasti tváření materiálů, zejména pak v zápustkových kovárnách.

Práce se zabývá návrhem a vývojem zápustkového výkovku vidlicové příruby. Jejím cílem je navržení optimálního tvaru dílu a efektivní technologie výroby. Hlavním kritériem pro úspěšné zavedení dílu do sériové výroby je vhodná volba kovacího agregátu, správné zvolení počtu předkovacích zápustek a tvaru kovacích dutin. Všechny tyto parametry ovlivňují ekonomiku celého výrobního procesu, která je závislá zejména na spotřebě materiálu a životnosti zápustek.

V úvodní části práce je popsána problematika vidlicových přírub, jejich použití, volba vhodných materiálů a následné tepelné zpracování. V experimentální části je řešena technologie výroby a návrh konstrukce zápustkových zařízení. Pro ověření navržené technologie je využita numerická simulace tváření, která umožní na základě výsledků optimalizovat geometrii tvaru zápustek před jejich vlastní výrobou. Zavedení prvku simulace do návrhu a vývoje zařízení umožní hlubší porozumění technologickým problémům, zkrátí čas vývoje a sníží počet nákladných zkoušek.

V závěru práce je porovnána simulace tváření s aplikací ve výrobě, zhodnocení výsledků po tepelném zpracování a následné provedení metalografického rozboru mikrostruktury vzorku vidlicové příruby.

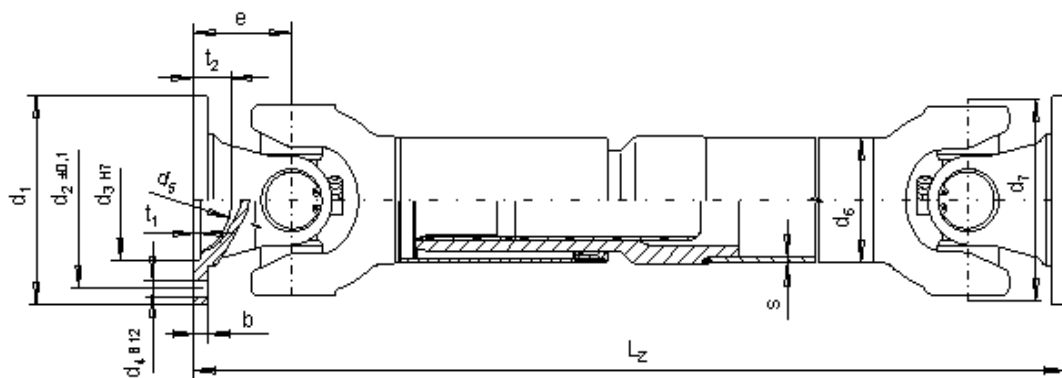
2 Teoretický rozbor problematiky vidlicových přírub

2.1 Použití vidlicových přírub

Vidlicová příruba je součástí kloubových hřídelí, které slouží k přenosu krouticího momentu od poháněcího k poháněnému agregátu. Žádný jiný prvek neumožňuje přenos síly točivého momentu mezi prostorově přesazenými hřídeli, jejichž poloha může být navíc měněna během provozu. Kloubové hřídele se vyznačují univerzálním použitím, vysokou hospodárností a spolehlivostí, využití nachází především v oblasti automobilového průmyslu, ve strojírenství a v zemědělství. Skládají se z těchto hlavních součástí – unašeče, který má podobu vidlicové příruby, přivařovaného čepu a kříže, pomocí kterého jsou součásti spojeny. Propojení hnacího a hnaného unášeče je realizováno prostřednictvím trubky navařené na čep. [1]

2.2 Požadavky na kloubové hřídele

Kloubové hřídele lze rozdělit podle základních požadavků na hřídele s vyrovnáním délky uvedeným na **obr. 1** a na hřídele bez vyrovnání délky. Základními parametry pro návrh hřídele jsou druh použití, provozní podmínky, hodnoty zatížení hřídele, předpisy pro délku a úhel ohybu a způsob připojení. Kloubovými hřídeli lze přenášet krouticí momenty od 6 Nm do 300 kNm. [1]



Obr. 1 Kloubový hřídel s vyrovnáním délky [1]

2.2.1 Úhel ohybu

Základní charakteristikou kloubu je schopnost přenášet rotační pohyb prostřednictvím měnícího se úhlu β , který svírá osa kardanové hřídele s osami hřídelí hnací a hnané. Cílem je udržet co nejmenší provozní úhel s ohledem na životnost spojů s valivými ložisky, která

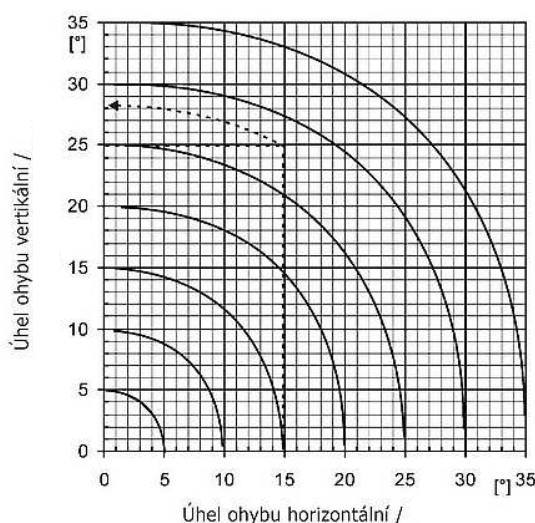
se snižuje zhruba o polovinu s každými pěti stupni zvýšení úhlu ohybu. V případě, kdy má univerzální spoj ve stejné době úhly v horizontální a vertikální rovině, může být výsledný úhel vypočítán ze složek β_h a β_v nebo může být odečten z grafu (**obr. 2**).

Vzorec pro výpočet výsledného úhlu ohybu β [1]

$$\tan \beta = \sqrt{\tan^2 \beta_h + \tan^2 \beta_v} \quad (1)$$

kde β_h - horizontální úhel ohybu

β_v - vertikální úhel ohybu



Obr. 2 Graf pro stanovení výsledného úhlu ohybu [1]

2.2.2 Kinematika hřídele

U hnací hřídele s konstantní úhlovou rychlostí ω_1 se bude úhel na kloubu periodicky měnit na rychlost ω_2 . Tato úhlová rychlost na hnané straně projde dvakrát za jednu otáčku horními a dolními polovinami amplitudy, absolutní počet se výrazně zvyšuje s úhlem ohybu. S konstantním výkonem jsou točivé momenty M_t nepřímo úměrné úhlovým rychlostem, takže výsledné extrémy lze vypočítat ze vztahů uvedených v **tab. 1**.

Tabulka 1 Výpočty úhlu natočení [1]

Parametr	Úhel natočení	
	0° a 180°	90° a 270°
ω_1	$\omega_1 \cdot \cos \beta$	$\frac{\omega_1}{\cos \beta}$
M_{t_1}	$\frac{M_{t_1}}{\cos \beta}$	$M_{t_1} \cdot \cos \beta$

Tato kinematická nerovnost je kritická, jestliže dvě hřídele umístěné na úhlu ohybu jsou spojeny jedním kloubem. Ústřední část umístěná mezi dvěma klouby může na základě zrychlení nebo zpomalení vyvolat chvění pohonu. Důležité pro konfiguraci hřídele v rozsahu vysokých otáček jsou malé úhly ohybu. Proto, aby byl zajištěn hladký chod kloubových hřídelí s malým chvěním, je nutné dodržet součin $n \times \beta$ v rámci empirických mezí. [1]

$$n \cdot \beta \leq \frac{36000}{\sqrt[6]{m}} \quad (2)$$

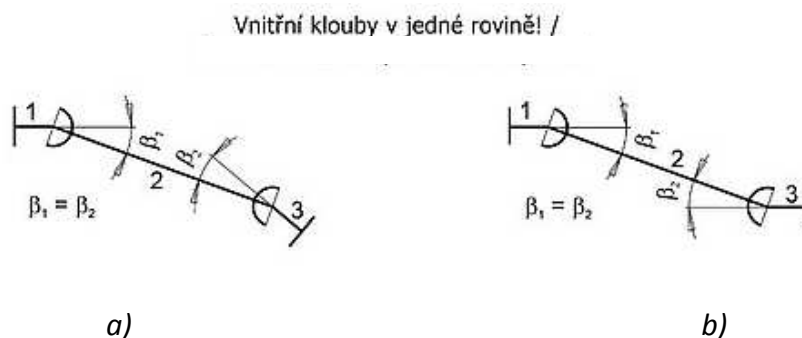
kde n - počet otáček

β - úhel natočení

m - hmotnost spojovacího hřídele v kg

2.2.3 Uspořádání spojovacích hřídelí

Dva klouby umožňují kompenzovat periodické změny úhlové rychlosti jediného spoje. Je jich dosaženo umístěním vnitřních os čepů hřídelí 1, 2 a 3 do jedné roviny, což vytváří stejné úhly obou spojů. Při uspořádání Z a M mají stejnou kinematickou hodnotu, schéma uspořádání je uvedeno na **obr. 3**.

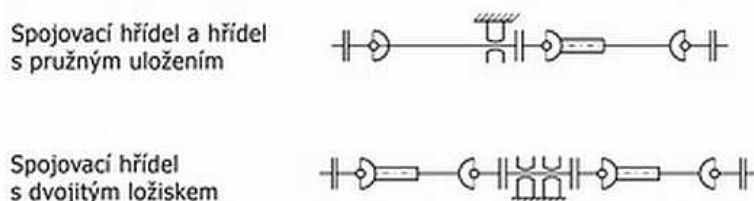


Obr. 3 Uspořádání hřídelí v jedné rovině **a)** provedení M **b)** provedení Z [1]

Homokinetický přenos rotačního pohybu je možný, i když hřídele nejsou v jedné rovině. Platí tehdy, jestliže jeden je ve tvaru M, a druhý ve tvaru Z. Klouby musí být otočeny jeden relativně k druhému, dokud osy nebudou postaveny v jejich vlastních rovinách ohybu. V tomto případě není možné použít standardní klouby. Při navrhování strojních součástí by měl být kladen důraz na to, aby byly všechny úhly na spojovacím hřídeli stejné. Pokud není z technických důvodů možné dodržet tuto podmínku, musí být rozhodnuto, jestli může být zbylý stupeň úhlové nepravidelnosti tolerován. Přesná čísla

pro povolený rozdíl mezi úhly na ohybu na vstupní (hnací) straně a výstupní (hnané) straně nemohou být stanovena, protože stupeň úhlové nepravidelnosti závisí na absolutní velikosti úhlu. Další faktory, které je nutné brát v úvahu, jsou otáčky a tuhost, tj. koeficient torzní pružnosti hnacího systému.

Pokud jsou spojovací hřídele uspořádány v řadě za sebou, doporučují se kombinace uvedené na **obr. 4**. Pro eliminaci odlišností a chvění s nimi spojenými se doporučuje instalovat jednotlivé kloubové hřídele vzájemně odsazené o 90°. [1]



Obr. 4 Uspořádání hřídelí v řadě za sebou [1]

2.2.4 Kritické otáčky

Každá kloubová hřídel má kritické otáčky, které nesmí být během provozu překročeny. Parametry ovlivňuje vzdálenost mezi dvěma spoji a pevnost v ohybu použité trubky. Nadměrné otáčky způsobí chvění a předčasnou poruchu hřídele. Kritické otáčky n_k pro kloubové hřídele lze vypočítat ze vztahu

$$n_k = 0,9 \cdot 10^7 \frac{\sqrt{D^2 + d^2}}{l^2} \quad (3)$$

kde D - vnější průměr trubky v mm

d - vnitřní průměr trubky v mm

l - vzdálenosti mezi spoji v mm

Provozní otáčky by neměly překročit 80% vypočítaných kritických otáček. Pokud použití hřídele nesplňuje tuto podmínku, je nutné volit řešení s více kloubovými hřídeli v jedné sestavě. [1]

2.2.5 Technické parametry kloubového hřídele pro daný účel

U kloubových hřídelí používaných pro různé účely musí být zvolena jejich velikost a stanovena životnost. Velikost kloubového hřídele musí být taková, aby její maximální okamžitá zatíženost krouticím momentem nebyla menší než maximální krouticí moment, který má být přenesen. Při návrhu musí být zvažovány další parametry, jako jsou úhel ohybu, otáčky, délka, provozní podmínky.

2.3 Technické požadavky na vidlicovou přírubu

Nejkritičtější částí kloubových hřídelí je svár spojující přivařovaný čep a propojovací trubku. Pro návrh vidlicové příruby je rozhodující způsob jejího použití, uspořádání hřídelí a provozní podmínky. Mohou být vyrobeny jako odlitky nebo výkovky. Nejdůležitějším kritériem pro výběr materiálu jsou jeho pevnostní charakteristiky, zejména pak garantovaná mez kluzu. U přivařovaných čepů je nutná alespoň podmíněná svařitelnost použitého materiálu. Výkovky jsou nejčastěji vyráběny z ocelí C45 a 41Cr4.

2.3.1 Charakteristiky oceli C45 (1.0503)

Nelegovaná, středně uhlíková ocel s možností zušlechťování. Používá se v případě, kdy je požadována větší pevnost a tvrdost než je tomu ve stavu po válcování. Je předurčena k použití pro středně namáhané strojní součásti do automobilů, železničních vozů, strojů, motorů a přístrojů. Optimálních mechanických hodnot včetně houževnatosti se u ní dosahuje v zakaleném a následně popuštěném stavu. Obrobitelnost třískovým obráběním může být ve stavu po válcování ztížena vlivem zvýšené pevnosti. Pro obrábění je proto výhodnější stav žíhaný na měkko. Lepší obrobitelnost vykazuje ocel C45R se zvýšeným obsahem síry. V následujících **tab. 2, 3, 4** je uvedeno chemické složení a mechanické vlastnosti oceli. [2]

Tabulka 2 Chemické složení oceli C45 v hm % [2]

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni
0,42 - 0,50	max. 0,40	0,50 - 0,80	max. 0,045	max. 0,045	max. 0,40	max. 0,10	max. 0,40

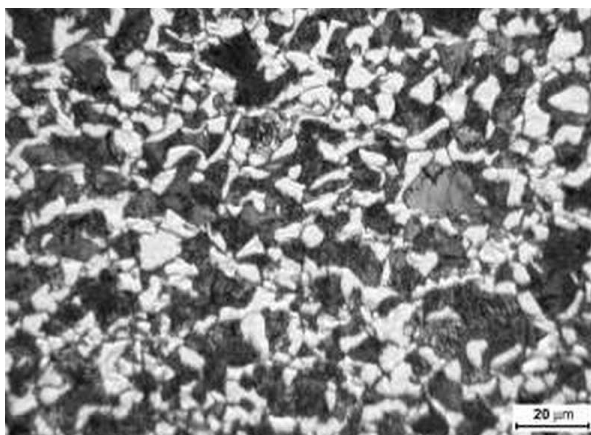
Tabulka 3 Mechanické vlastnosti oceli C45 v normalizovaném stavu [2]

Průměr d [mm]	Mez kluzu R_e min [MPa]	Pevnost R_m min [MPa]	Tažnost A [%]
$d \leq 16$	340	620	14
$16 < d \leq 100$	305	580	16
$100 < d \leq 250$	275	560	16

Tabulka 4 Mechanické vlastnosti oceli C45 v zušlechtěném stavu [2]

Průměr d [mm]	Mez kluzu R_e min [MPa]	Pevnost R_m [MPa]	Tažnost A [%]
$d \leq 16$	490	700 - 850	14
$16 < d \leq 40$	430	650 - 800	16
$40 < d \leq 100$	370	630 - 780	17

Na **obr. 5** je uveden příklad mikrostruktury oceli C45 ze vzorku z tyče o průměru D 80mm, tepelně zpracovaném normalizačním žíhání. Vzorek byl odebrán v podélném stavu, zvětšení 500 : 1. Konečná struktura je homogenní ve složení ferit + perlit. Výkovek vidlicové příruby je tepelně zpracován řízeným ochlazením z dokovací teploty, obě struktury budou následně porovnány.



Obr. 5 Mikrostruktura oceli C45 v normalizačně žíhaném stavu

2.3.2 Charakteristiky oceli 41Cr4 (1.7035)

Nízkolegovaná chromová ocel k zušlechtní. Používá se především pro středně namáhané strojní součásti. Po zakalení dosahuje tvrdosti 53 až 57 HRC, v zušlechtném stavu se vyznačuje dobrou odolností proti opotřebení a vyšší prokalitelností. Při pomalém ochlazování z teploty popouštění je náchylná k popouštěcí křehkosti. Obrobitelnost třískovým obráběním může být ve stavu po válcování ztížená vlivem zvýšené pevnosti, pro obrábění je tak výhodnější stav žíhaný na měkko. Zlepšenou obrobitelnost vykazuje ocel 41CrS4 se zvýšeným obsahem síry. Následující **tab. 6 a 7** uvádí chemické složení oceli a její mechanické vlastnosti. [2]

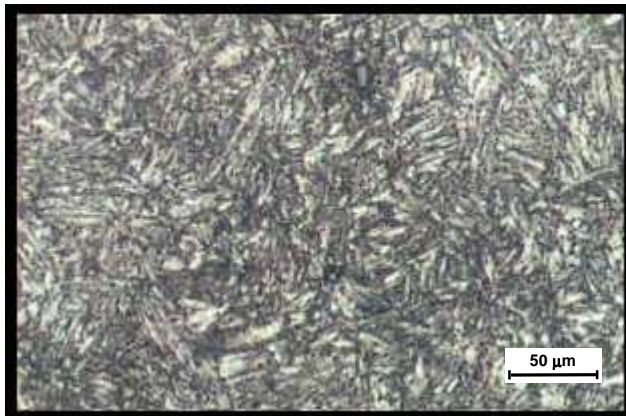
Tabulka 6 Chemické složení oceli 41Cr4 v hm % [2]

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni
0,38 - 0,45	max. 0,40	0,60 - 0,90	max. 0,035	max. 0,030	0,90 - 1,20	-	-

Tabulka 7 Mechanické vlastnosti oceli 41Cr4 v zušlechtném stavu [2]

Průměr d [mm]	Mez kluzu R_e min [MPa]	Pevnost R_m min [MPa]	Tažnost A [%]
$d \leq 16$	800	1000 - 1200	11
$16 < d \leq 40$	660	900 - 1100	12
$40 < d \leq 100$	560	800 - 900	14

Pro porovnání rozdílů struktur rozdílných tepelných zpracování je na **obr. 6** zobrazena mikrostruktura oceli 41Cr4 v zušlechtěném stavu, vzorek byl odebrán v podélném stavu z tyče o průměru $D = 80\text{mm}$, zvětšení $1000 : 1$. Konečnou strukturu tvoří popuštěný martenzit a bainit bez feritu.



Obr. 6 Mikrostruktura oceli 41Cr4 ve zušlechtěném stavu [2]

3 Zápustkové kování

Je tvářecí pochod, při kterém je výchozí polotovár deformován silou vyvozenou beranem bucharu nebo lisu. Při kování na bucharech dochází opakovaně k deformaci dynamickým rázem, mluvíme tedy o přetržitém procesu tváření. V okamžiku dopadu bucharu na tvářený polotovár se mění jeho rychlost z maximální na nulovou. Z toho plyne, že se na bucharech dosahuje vyšších deformačních rychlostí a tím i vyšších deformačních odporů. Rázovou energii bucharu W v J lze vypočítat ze vztahu

$$W = \frac{A}{\eta} \quad (4)$$

kde A - deformační práce bucharu v MPa

η - rázová účinnost ($\eta = 0,8 - 0,9$)

Při kování na lisech se uskutečňuje deformace jedním zdvihem beranu, který působí na tvářený materiál klidným tlakem. Jedná se v podstatě o nerázový charakter práce. Základním parametrem kovací lisů je jejich jmenovitá síla. Lisy lze rozdělit do tří základních skupin na klikové s kovací silou 1 MN až 80 MN, vřetenové o síle 1 MN až 25 MN a hydraulické o síle až 200 MN (výjimečně až 750 MN). [3]

Charakteristikou zápustkového kování je omezený tok kovu, který postupně nabývá tvaru dutiny nástroje obecně nazývaným zápustka. Skládá se z horního a dolního dílu, které jsou upevněny k beranu nebo pracovnímu stolu v závislosti na použité technologii upínání. Zápustky pro buchary jsou konstruovány s rybinou a k beranu se upínají pomocí

klínů a příčných per, která brání podélnému pohybu zápustek. U kovací lisů jsou využívány upínače, které se liší podle provedení jednotlivých zařízení. Hlavní důraz při konstrukci upínání je kladen na rychlou výměnu zápustek, a jejich přesném vedení. [4]

Z hlediska využití materiálu pro konečný výrobek a způsobu vyplnění zápustky se rozdělují kovací dutiny na uzavřené a otevřené. U uzavřených zápustek hovoříme o technologii tzv. bezvýronkového kování, zápustka je zcela vyplněna kovem a umožňuje jeho maximální využití. Je však nezbytné zabezpečení přesné hmotnosti tvářeného polotovaru, dostatečné tuhosti zápustky a odpovídající přesnosti stroje. [5] Druhou technologií je kování v otevřené kovací dutině. Zápustka má výronkovou drážku, do které odtéká přebytečný materiál a pro kování má nezastupitelný význam. Tlumí rázy mezi oběma částmi zápustky a brání dalšímu vytěsňování kovu z dutiny, tím probíhá zaplňování při příznivých podmínkách stavu napjatosti. Výronek je při následné operaci odstraněn stříháním za tepla nebo za studena.

3.1 Materiály na zápustky

Náklady na kovací zařízení tvoří významnou ekonomickou položku při technologiích tváření, proto je nezbytné správně zvolit druh materiálu a jeho následné tepelné zpracování.

Materiály pro kovací zápustky jsou nástrojové oceli převážně středně a vysoce legované s obsahem uhlíku 0,3 – 0,6 hm. %. Zatímco u zápustek pro buchary je požadována především vysoká houževnatost, u zápustek pro kovací lisy je spektrum dosažitelných vlastností širší a jednotlivé oceli se vzájemně více odlišují podle toho, pro jaký typ zápustky a výkovku jsou používány. V zásadě se u těchto kovacích zápustek vyžaduje optimální kombinace pevnosti za tepla, houževnatosti, odolnosti proti popouštění křehkosti, vysoké otěruvzdornosti, vysoké tepelné vodivosti a dalších vlastností.

Nejčastěji používané legované nástrojové oceli pro práci za tepla označené dle ČSN jsou tyto: 19 662, 19 663, 19 552, 19 554, 19 721. Pro dosažení vyšších užitných vlastností zápustek se začínají ve větší míře prosazovat oceli s vyšší čistotou. Vyrábějí se technologií PERS (remelting under increased pressure) – elektrostruskové přetavování za zvýšeného tlaku. Zápustky vyrobené z těchto materiálů vykazují vyšší hodnoty plasticity, snížený podíl vměstků a inkluzí, zároveň i jejich rovnoměrnější distribuci v objemu kovu. Jako hlavní představitele lze uvést Orvar Supreme a Vidar Superior firmy Böhler – Uddeholm a Thyrotherm 2999 EFS Supra firmy ThyssenKrupp.

Životnost zápustek zásadně ovlivňuje kvalitu výkovků a produktivitu celého kovacího procesu. Podíl nákladů na nástroje k jednotkové ceně výkovku se pohybuje od 10 - 17%. Během kování dochází k následujícím mechanismům mechanického opotřebení kovacích zařízení:

- Abrazivní poškození – vyvolané množstvím přemísťovaného množství kovu a vyšší relativní rychlostí po povrchu pracovní části nástroje tzv. otěr.
- Adhezivní poškození – ulpívání částic tvářeného materiálu na povrchu pracovní části nástroje a vliv drsnosti (součinitele tření) povrchu obrobené zápustky.
- Rozrušenost povrchu materiálu.
- Lokální plastická deformace aktivních ploch nástroje.

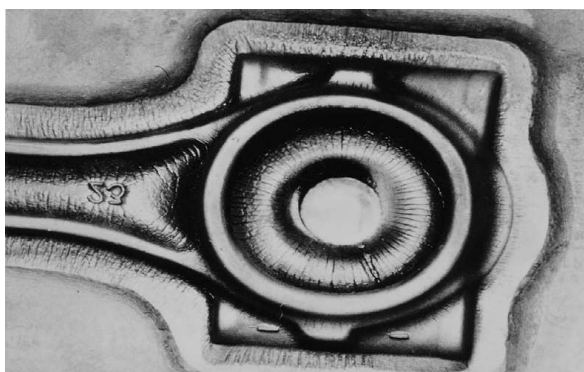
Při tváření materiálu ohřátého nad 1000°C vzniká v zápustce tepelná únava, která má za následek:

- Vznik interkrystalických trhlin (po hranicích zrn) – na povrchu nástroje, v místě styku s horkým materiálem.
- Omezení pevnosti hranic zrn – vznik tepelné únavy souvisí se segregací některých prvků v nástrojovém materiálu na hranice zrn.

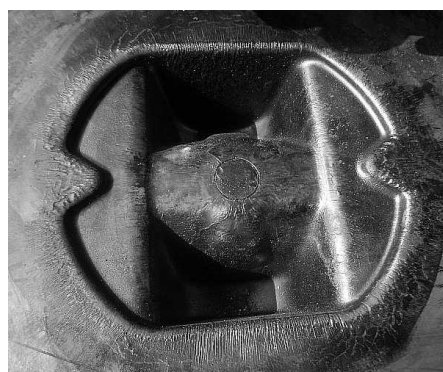
Dalším z faktorů ovlivňující životnost zápustky je mechanická únava:

- Postupné šíření interkrystalických trhlin opakovaným mechanickým namáháním materiálu nástroje.
- Může dojít k lomu při působení napětí, které při jednorázovém zatížení vyvolá pouze nepatrnou elastickou deformaci nástroje.

Trhliny na zápustkách vznikají nejčastěji v hranách a rozích zápustek s malými rádiusy, ve kterých je koncentrováno největší napětí. Zároveň bylo experimentálně zjištěno, že příčinou křehkého lomu bývá iniciace z krátkých trhlin vlivem mechanické a tepelné únavy. Na **obr. 5** jsou patrné trhliny na zápustkách typické pro kování za tepla. [6]



a)



b)

Obr. 5 Trhliny na zápustce po kování **a)** ojnice [6] **b)** vidlicová příruba

3.2 Mazání zápustek

Maziva zaujímají nezastupitelnou roli při tvářecích procesech a hrají klíčovou roli pro zvyšování životnosti zápustek. Účelem používání maziv při zápustkovém kování je ochlazení nástroje, snížení koeficientu tření a zajištění jeho nejlepší možné konstantnosti mezi zápustkou a tvářeným materiálem. Míra tření má vliv na tečení materiálu, tvorbu vnitřních defektů a na pracovní sílu působící na nástroj. Pro dosažení vysoké efektivity procesu je důležité vytvoření rovnoměrné, celistvé a dobře přilnavé vrstvy maziva na nástroji. V moderních kovárnách jsou dříve používaná maziva na bázi oleje nahrazována spektrem mazacích prostředků na bázi vody.

3.2.1 Bílá maziva

Vyrábí se jako koncentráty nebo v práškové formě, která se následně rozmícháním s vodou připraví k použití. Pracují jako separační činidlo tím, že dojde k vypaření po kontaktu polotovaru s vrstvou maziva. Vytvořený plyn umožní materiálu posuv po plynové vrstvě do dutiny zápustky. Vzhledem k tomu, že se materiál dokonale rozpustí, nevznikají na zápustce ani na stříkacím zařízení žádné sedimenty. Maziva jsou určena především pro ploché a symetrické součásti.

3.2.2 Grafitová maziva

Vyrábí se především jako koncentrované vodní roztoky. Mazivo odděluje zápustku a polotovar, vločkovitý tvar grafitu umožňuje pohyb horkého kovu ve směru tečení materiálu. Nevýhodou grafitových maziv je znečištění pracovního prostředí a kovacího náradí, je však využíváno pro své vynikající mazací schopnosti u hlubokých výkovků a složitých tvarů. [7]

3.2.3 Výzkum a vývoj maziv

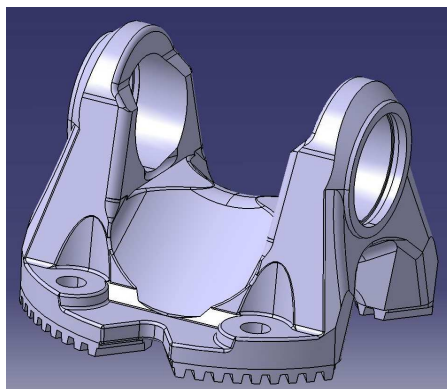
Používání mazacích prostředků je pod rostoucím tlakem na dodržování přísných ekologických a bezpečnostních předpisů. Za tímto účelem byl realizován výzkumný projekt, jehož cílem bylo zajištění lepších pracovních podmínek operátorů při dosažení vyšší účinnosti maziva. Předmětem zkoumání byly mazací prostředky firem Acheson Colloiden, B.V.z Nizozemska a Carl Bechem GmbH z Německa. Zkoušení proběhlo v laboratorních podmínkách na Darmstadt University of Technology v Německu. Produkty byly podrobeny hrotové zkoušce, která spočívá v zatlačování polotovaru do matrice ve tvaru kužele. Výška vtlačeného hrotu je kritériem pro mazací schopnosti daného

maziva. Další prováděnou zkouškou byla třecí zkouška, která se provádí lisováním ohřátého polotovaru s konstantní rychlostí. Polotovar klouže po povrchu zápustky, přičemž se měří vzniklé síly pro přepočet na koeficient tření. Tyto metody zkoušení jsou považovány za model simulace vlastností během kování. Zkoumaná maziva jsou vyvinuta na bázi olejů bez minerálních látek. Nejlepší výsledky týkající se vlivu na životní prostředí a životnost nástroje bylo dosaženo použitím mazacích systémů skládající se z grafitového základu černého maziva a olejového - bílého maziva. [8]

4 Technologický postup zápustkového kování vidlicové příruby

4.1 Návrh výkovku

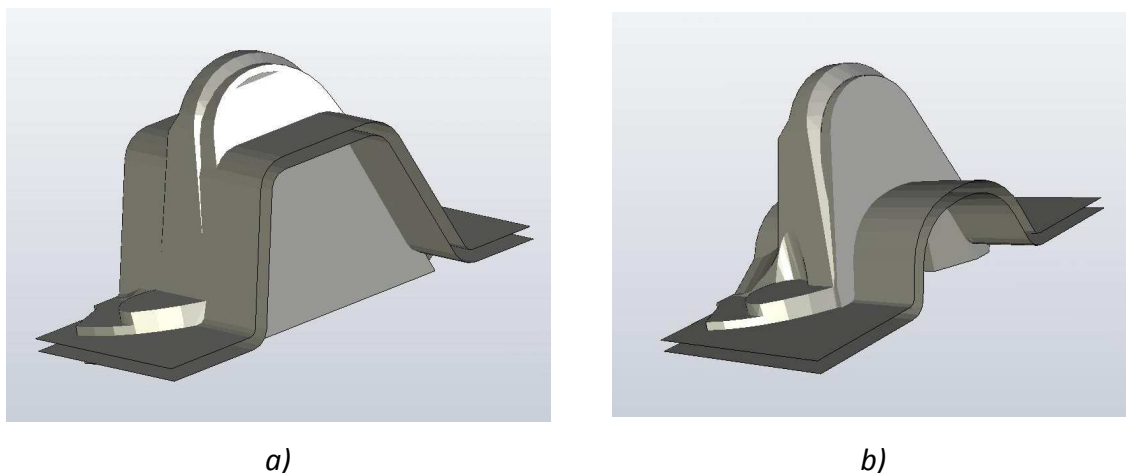
Při návrhu konkrétního typu výrobku je nejprve nezbytné provést rozbor technologičnosti s ohledem na požadovanou přesnost a schopnost dodržení rozměrů (síly stěny, úkosů, rádiusů). Návrh výkovku vidlicové příruby je stanoven na základě 3D modelu opracovaného dílu, který je uveden na **obr. 6**. Vzhledem k negativním úhlům na součásti není možné stanovit pouze přídavky na obrábění. Pro možnost realizace dílu zápustkovým kováním je zapotřebí zvolit technologické přídavky a úkosy, které umožní vyjmutí výkovku z kovací dutiny.



Obr. 6 Obrobená vidlicová přírub - 3D model

Z obrázku jasně vyplývá, že výkovek nemůže mít přímou dělicí rovinu, ale bude souměrně lomená. Její provedení lze uskutečnit ve dvou variantách. V prvním případě je dělicí rovina vedena středem oka vidlice (**obr. 7a**). Tento způsob je vhodnější pro následné opracování, kdy bude dodržena symetrie oka bez ostrých přechodů na neopracované plochy. Zároveň bude snazší dotečení materiálu do horní části vidlice. Ve druhém případě je navržena dělicí rovina v nejnižší možné části přechodové oblasti (**obr. 7b**). Nevýhodou tohoto provedení je opracování, při kterém vznikne na obrobku ostrý přechod a bude obtížnější dokování vrcholu vidlice. Při rozhodování je nutné vzít v potaz všechny aspekty,

kteře ovlivnı konečnou kvalitu vırobku a konečné nıkłady na vırobu. Pro realizaci je zvolena druhá varianta kvůli menšímu zalomenı dělicı roviny a jejímu plynulejšímu přechodu. Vzhledem ke zkušenostem s kováním obdobných dílů se očekává od tohoto provedení dělicı roviny promıtnutı ve vyšší životnosti zápustek. Eliminuje se také riziko vzniku trhlin v kritické části zápustky vlivem snížení tlaku na stěny zápustky.

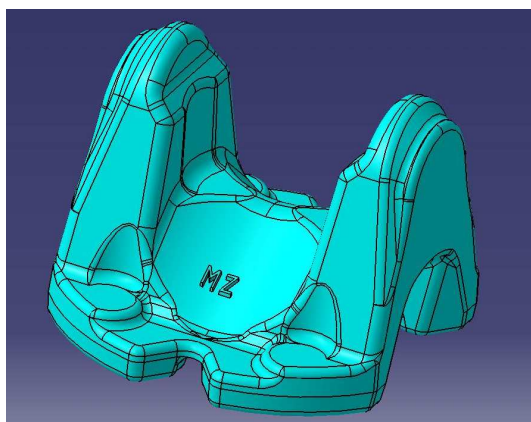


Obr. 7 Návrh dělicı roviny ve **a)** středu oka **b)** spodní části oka

4.1.1 Technologické přídavky a meznı úchytky

Technologické přídavky na obrábění budou stanoveny dle normy ČSN 42 9030 pro obvyklé provedení, hodnoty pro jejich určení jsou vedeny v **tab. 14** v příloze. [9]

Na základě těchto údajů je obvykle možné vypočítat hmotnost vıkovku. Pro vidlicovou přírubu by byl vıpočet značně složitý a vypočítaná hmotnost by nebyla zcela přesná. Z tohoto důvodu byl vytvořen 3D model vıkovku v konstrukčním softwaru, který umožnil změřit hmotnost vıkovku vážícího 3,7 kg. Konečná podoba návrhu vıkovku vidlicové příruby se stanovenım technologických přídaveků je uvedena na **obr. 8**.



Obr. 8 Návrh vıkovku - 3D model

Mezní úchytky rozměrů budou stanoveny dle normy ČSN EN 10243-1 pro stupeň přesnosti kování F s úchytkami, které poskytují přiměřený stupeň pro obvyklé použití, dosažitelný běžně používaným kovářským zařízením. [10] Pro jejich stanovení jsou, kromě rozměrů nutné ještě tyto údaje:

- Hmotnost výkovku
- Tvar dělicí roviny
- Druh oceli
- Ukazatel členitosti tvaru
- Druhy rozměrů
- Druhy používané oceli

Stupeň obtížnosti kování závisí na použitém materiálu. Oceli s vysokým obsahem uhlíku a vysokolegované oceli jsou hůře tváritelné a způsobují vyšší opotřebení zápustek.

Použité druhy ocelí se rozdělují do těchto skupin stupně obtížnosti kování:

Skupina M1: ocel s obsahem uhlíku do 0,65% a celkovým obsahem legujících prvků (Mn, Ni, Cr, Mo, V, W) do 5% hmotnosti

Skupina M2: ocel s obsahem uhlíku nad 0,65% nebo celkovým obsahem legujících prvků (Mn, Ni, Cr, Mo, V, W) nad 5% hmotnosti

Materiál C45 s obsahem uhlíku 0,42 – 0,50 hm. % použitý pro vidlicovou přírubu zařazuje výkovek do skupiny M1.

Ukazatel členitosti tvaru

Stanovení ukazatele členitosti tvaru přihlíží k tomu, že při kování tenkostěnných průřezů a členitých součástí vznikají oproti jednoduchým dílům větší rozměrové variace vlivem rozdílných smrštění, vyšším tvářecím silám a vyšší rychlosti opotřebení zápustky. Výpočet ukazatele členitosti tvaru se vypočítá ze vztahu

$$S = \frac{m_{\text{výkovku}}}{m_{\text{obalového tělesa}}} \quad (5)$$

kde $m_{\text{výkovku}}$ - hmotnost výkovku v kg

$m_{\text{obalového tělesa}}$ - hmotnost obalového tělesa v kg

Pro výkovek nerotačního tvaru je obalové těleso tvořeno nejmenším kvádrem, který obklopí výkovek (**obr. 9**). Výpočet hmotnosti obalového tělesa se vypočítá ze vztahu

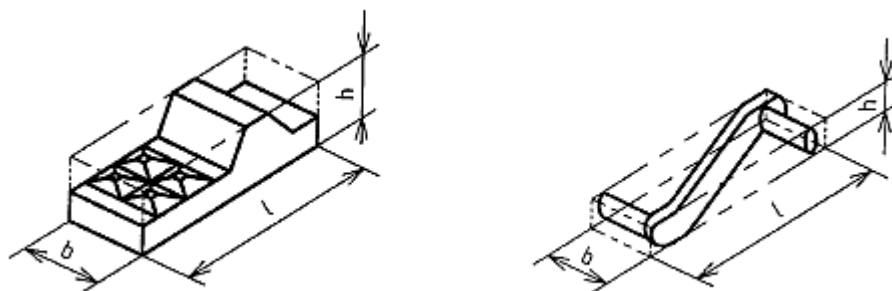
$$m_{\text{obalového tělesa}} = l \cdot b \cdot h \cdot \rho \quad (6)$$

kde l - délka tělesa v dm

b - šířka tělesa v dm

h - výška tělesa v dm

ρ - hustota oceli (7,85 kg/dm³)



Obr. 9 Obalové těleso výkovku [10]

Hmotnost obalového tělesa vidlicové příruby vypočítáme odečtením rozměrů z výkresu výkovku uvedeného v příloze na **obr. 22**. Platí tedy, že $l = 1,52$ dm, $b = 1,28$ dm, $h = 1,0$ dm.

Po dosazení do vztahu získáme požadovanou hmotnost

$$m_{\text{obalového tělesa}} = 1,52 \cdot 1,28 \cdot 1 \cdot 7,85 = 15,3 \text{ kg}$$

Výsledný ukazatel členitosti tvaru je přiřazen do jedné z těchto skupin:

S 4: do 0,16;

S 3: nad 0,16 do 0,32;

S 2: nad 0,32 do 0,63;

S 1: nad 0,63 do 1.

Výpočet ukazatele členitosti tvaru vidlicové příruby vypočítáme ze vztahu

$$S = \frac{3,7}{15,3} = 0,24 \Rightarrow \text{výsledná hodnota zařazuje výkovek do skupiny S 3.}$$

Druhy rozměrů

Rozlišujeme čtyři hlavní druhy rozměrů, jejichž vztah ke směru kování a dělicí rovině je vyjádřen v **tab. 10**.

Tabulka 10 Závislost rozměru, směru kování a dělicí roviny [10]

Rozměr	Směr kování	Dělicí rovina zápustky
Délka	⊥	Na jedné straně
Šířka	⊥	
Výška		
Tloušťka		Příčná

Na základě výše uvedených hodnot jsme nyní schopni určit všechny potřebné mezní úchytky pro daný výkovek. Jejich odvození je provedeno pomocí **tab. 15** uvedené v příloze. Mezní úchytky jsou zaznamenány do razítka na výkresu výkovku vidlicové příruby uvedeného v příloze (**obr. 22**).

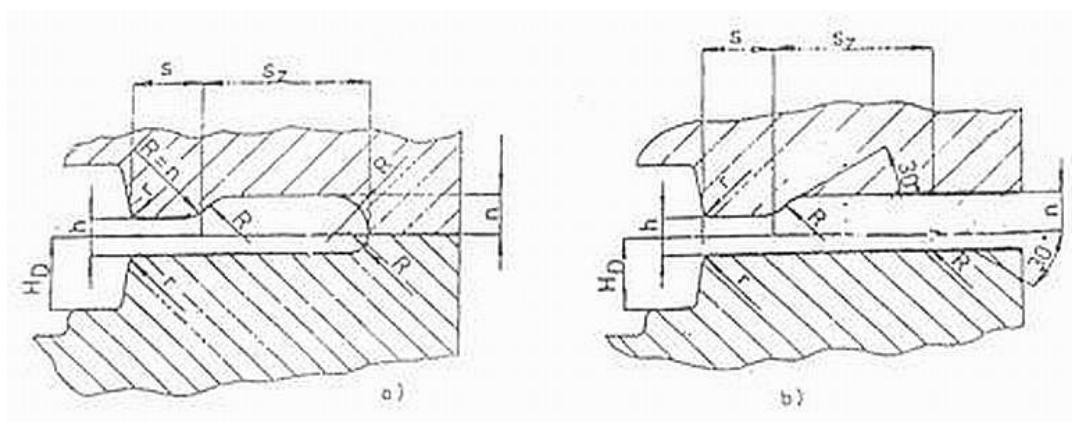
Vzhledem ke specifickým požadavkům zákazníka na snížení mezních hodnot úchylek oproti standardnímu stupni přesnosti kování F je upravena na výkresu výkovku tolerance přesazení a maximální přípustná výška otřepu na 0,6 mm.

Stanovení mezních hodnot slouží pro ověření vhodnosti použití zvoleného kovacího agregátu stanovení, technologie kování a konstrukce zápustkového zařízení, případně pro určení následných operací, např. broušení nebo kalibrace.

4.2 Technologický postup

4.2.1 Stanovení hmotnosti polotovaru

Pro výrobu vidlicové příruby je zvolen svislý kovací lis s technologií otevřeného zápustkového kování, tj. s výronkovou drážkou. Její možná provedení jsou uvedena na **obr. 10**.



Obr. 10 Typy výronkových drážek pro **a)** buchar **b)** lis [11]

Pro stanovení hmotnosti polotovaru musí být k hmotnosti výkovku připočítána hmotnost výronku. Vzhledem ke složitosti dílu je vhodné zjednodušit výpočet tím, že zanedbáme jeho nepravidelný tvar a lomenou dělicí rovinu. Poměrem mezi nimi zvolíme rozměr 152 mm jako průměr D_v , který budeme považovat za největší rozměr výkovku v dělicí rovině a provedeme výpočet jako u rotační součásti. Další rozměry budou zvoleny na základě znalosti parametrů stroje a firemních zkušeností při konstruování zápustek, kdy je zapotřebí vzít v úvahu veškeré jeho vûle a opotřebení. Velikost výšky výronku $h=5$ mm, $s=12$ mm, $s_z=38$ mm.

Pro výpočet hmotnosti výronku nejprve zjistíme jeho objem

$$V_{\text{výr}} = h \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \left((2 \cdot (s + s_z) + D_v)^2 - D_v^2 \right) \quad (7)$$

kde h - výška výronku v mm

s - délka můstku výronkové drážky v mm

s_z - velikost přebytku materiálu v drážce v mm

D_v - průměr výkovku v dělicí rovině v mm

Po dosazení do vztahu

$$V_{\text{výr}} = 5 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \left((2 \cdot (12 + 38) + 152)^2 - 152^2 \right) = 120576 \text{ mm}^3 = 0,121 \text{ dm}^3$$

Hmotnost výronku vypočítáme ze vztahu

$$m_{\text{výr}} = V_{\text{výr}} \cdot \rho \quad (8)$$

kde $V_{\text{výr}}$ - objem výronku v dm^3

ρ - hustota oceli v kg/dm^3

Po dosazení získáme konečnou hmotnost výronku

$$m_{\text{výr}} = 0,121 \cdot 7,85 = 0,95 \text{ kg}$$

Výpočet hmotnosti polotovaru provedeme pomocí obecného vztahu

$$m_{\text{pol}} = (m_{\text{výkovku}} + m_{\text{výr}}) \cdot \left(1 + \frac{\delta}{100} \right) \quad (9)$$

kde $m_{\text{výkovku}}$ - hmotnost výkovku v kg

$m_{\text{výr}}$ - hmotnost výronku v kg

δ - procento opalu (0,5 - 4%)

Svislý kovací lis využívá k předehřevu materiálu indukční ohřev. Procento opalu v tomto případě odpovídá hodnotě 0,5%, při výpočtu ho budeme tudíž zanedbávat. Kovářenské technologie, u kterých se ohřev provádí v plynových pecích, musí kalkulovat s procentem opalu až 4%.

Po dosazení do vzorce získáme konečnou hmotnost polotovaru

$$m_{\text{pol}} = (3,7 + 0,95) = 4,65 \text{ kg}$$

4.2.2 Výběr polotovaru

Pro výběr vhodného polotovaru je nutné vzít v úvahu všechny dříve vypočítané a zvolené parametry a také omezení z hlediska technologií výroby v průběhu celého procesu.

Základním pravidlem pro stanovení průřezu materiálu je pravidlo pýchování, tj. štíhlostní poměr λ , výpočet je dán vztahem

$$\lambda = \frac{L_0}{D_0} = 2,5 - 1,4 \quad (10)$$

kde L_0 - délka polotovaru v mm

D_0 - průměr polotovaru v mm

Při překročení maximální hodnoty štíhlostního poměru může dojít při pýchování k vybočení materiálu do strany. Minimální hodnota je limitována indukčním ohřevem, kdy je materiál vytlačován z induktoru a pomocí vlastní gravitace dopraven do pracovního prostoru lisu. Při nedodržení minimální hodnoty hrozí vypadávání dvou kusů polotovaru najednou.

Rozhodující vliv na výběr průřezu materiálu má předpokládaná technologie výroby, kdy potřebujeme, aby se jeho délka blížila největší šířce vidlicové příruby. Pro výpočet volíme jako výchozí hodnotu délku $L_0 = 120 \text{ mm} = 1,2 \text{ dm}$. Dosazením do vzorce pro výpočet objemu získáme předběžný průměr polotovaru

$$V_{pol} = \frac{\pi \cdot D_0^2}{4} \cdot L_0 \Rightarrow \frac{m_{pol}}{\rho} = \frac{\pi \cdot D_0^2}{4} \cdot L_0 \Rightarrow D_0 = \sqrt{\frac{m_{pol} \cdot 4}{\rho \cdot \pi \cdot L_0}} \quad (11)$$

$$D_0 = \sqrt{\frac{4,65 \cdot 4}{7,85 \cdot \pi \cdot 1,2}} = 0,792 \text{ dm} = 79,2 \text{ mm}$$

Skutečný průměr polotovaru volíme $D_0 = 80 \text{ mm}$ dodávaný podle rozměrové normy pro válcované tyče.

Skutečná délka polotovaru se vypočítá po úpravě výchozího vzorce

$$L_0 = \frac{m_{pol} \cdot 4}{\rho \cdot \pi \cdot D_0^2} \quad (12)$$

$$L_0 = \frac{4,65 \cdot 4}{7,85 \cdot \pi \cdot 0,8^2} = 1,18 \text{ dm} = 118 \text{ mm}$$

Následně provedeme ověření podmínky štíhlostního poměru λ

$$\lambda = \frac{118}{80} = 1,475 \Rightarrow \lambda > 1,4$$

4.2.3 Specifikace materiálu

Materiál pro vidlicovou přírubu je specifikován v požadavku zákazníka, je jím ocel C45 s technicko - dodacími předpisy podle normy ČSN EN 10083. Vzhledem k požadavkům

na konečnou jakost povrchu výkovku bez trhlin a hodnotám meze pevnosti 700 – 850 MPa po tepelném zpracování stanovíme další podmínky pro dodávaný materiál.

Chemické složení:

- Obsah uhlíku v oceli C45 je stanoven normou ČSN EN 10083 v rozmezí 0,42 – 0,50%. Pro zaručení dodržení hodnot při řízeném ochlazování stanovíme podmínky pro dodávaný materiál s omezením obsahu uhlíku na 0,45 – 0,50%.

Tvrдост:

- Nesmí být překročena tvrdost 250 HB, pro zaručení stříhání bez vzniku trhlin.

Vnitřní struktura materiálu:

- Garance velikosti zrna při struktuře ferit a austenit C=5 a jemnější.
- Mikroskopický stupeň čistoty pro oxidické, sulfidické a nekovové vměstky K4≤35 (platí pro maximální součet hodnot).

Vady materiálu:

- Materiál musí být bez vnitřních vad, jako jsou lukry, podpovrchové bubliny, segregace, přeložky a póry. Povrchové vady jako jsou rýhy po broušení a trhliny nesmí překročit hloubku 0,3 mm, eventuální povrchové vady mohou být opraveny do rámce povolené tolerance.
- Zkouška ultrazvukem – k zajištění čistoty bez vnitřních vad musí být na tyčích provedena 100% zkouška ultrazvukem dle EN 10308.

4.2.4 Dělení materiálu

Dělení materiálu je prováděno stříháním tyčí na strojních nůžkách ScK. Tato technologie se vyznačuje vysokou produktivitou a minimálním odpadem. Nevýhodou je horší jakost střižné plochy a schopnost dodržení přesnosti předepsané hmotnosti. Odchyšky se pohybují od 0,2% do 1,5% v závislosti na průřezu a hmotnosti děleného materiálu. Pro výkovek vidlicové příruby můžeme oba tyto faktory zanedbat. Výběr typu nůžek stanovíme na základě výpočtu střižné síly podle parametrů stříhání ze vztahu [12]

$$F = k \cdot R_m \cdot S \quad (13)$$

kde F - síla v MN

k - součinitel zahrnující otupení nožů (1,02 – 1,36)

R_m - pevnost v tahu při stříhané teplotě v MPa

S - průřez polotovaru v m²

Tyče průměru $D = 80$ mm budou ohřívány v plynové narážecí peci na teplotu 200°-280°C, při které je zaručený příznivý tvar střižné plochy bez vzniku velkých otřepů a

otlaků. Pro výpočet budeme uvažovat nejvyšší přípustnou tvrdost materiálu, která vyplývá z předepsaných dodacích podmínek tj. maximálně 250HB, po převodu získáme pevnost 843 MPa. Dále zvolíme koeficient otupení nožů $k = 1,25$. Po vypočítání plochy průřezu tyče a dosazení do vztahu získáme potřebnou střížnou sílu

$$S = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0,08^2}{4} = 0,00502 \text{ m}^2 \quad (14)$$

$$F = 1,15 \cdot 843 \cdot 0,00502 = 4,87 \text{ MN}$$

Pro stříhání volíme nůžky ScK 500 se střížnou silou 5MN.

4.2.5 Kování

Kování hraje v průběhu celého výrobního procesu významnou roli z hlediska splnění jakostních a technologických požadavků vyráběného dílu, zároveň se jedná o ekonomicky nejnákladnější operaci. Tyto faktory lze ovlivnit výběrem vhodného kovacího agregátu, při kterém je nutné brát v úvahu rozměry, hmotnost a tvarovou složitost výkovku. Pro stanovení optimálního stroje musíme znát minimální potřebnou kovací sílu, jejíž výpočet je však velmi složitý a není zcela přesný, výsledná hodnota bude tedy pouze orientační. Pro výpočet použijeme rovnici ve zjednodušeném tvaru, která byla odvozena z nomogramu firmy Šmeral pro svislé kovací lisy [12]

$$F = 0,6 \cdot S_c \cdot k_p \cdot K_{ts} \quad (15)$$

kde S_c - celková plocha průmětu výkovku a můstku výronkové drážky v cm^2

k_p - přetvárná pevnost materiálu pro danou teplotu v MPa

K_{ts} - koeficient vlivu tvarové složitosti (1 – 1,42)

Pro výpočet S_c použijeme následující vzorec

$$S_c = \frac{\pi \cdot (D_v + 2s)^2}{4} \quad (16)$$

kde D_v - průměr výkovku v dělicí rovině v mm

s - délka můstku výronkové drážky v mm



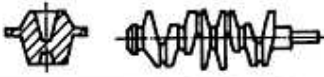

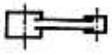

Hodnotu k_p volíme podle **tab. 11** pro dokovací teplotu, tj. teploty, kterou má výkovek na poslední kovací operaci, v našem případě 1000°C. Jakost materiálu vidlicové příruby C45 je ekvivalentem odpovídající oceli 12 050 dle ČSN.

Tabulka 11 Hodnoty přetvárné pevnosti při dané teplotě [12]

Materiál	kovací teplota ve °C						
ČSN	900	950	1000	1050	1100	1150	1200
12050	149	128	108	91	80	71	68
12060	148	118	102	90	82	73	67
13240	196	171	150	130	102	96	80
14100	165	132	111	99	91	85	
14220	184	159	139	121	106	91	76

Hodnotu K_{ts} volíme podle stupně tvarové složitosti výkovku stanovené podle **tab. 12.** uvedené v normě ČSN 22 8306. [13] Vidlicová příruba je vzhledem ke svému tvaru přiřazena do skupiny III, které odpovídá hodnota koeficientu $K_{ts} = 1,17$.

Tabulka 12 Stupeň tvarové složitosti výkovku [13]

I.		Jednoduché, kompaktní součásti
II.		Kompaktní, málo členité součásti
III.		Součásti s vysokým stupněm členitosti
IV.		Rozvidlené součásti
V.		Součásti s malými tloušťkami a přechody
VI.		Součásti s extrémně malou tloušťkou průřezu

Po dosazení do rovnic získáme přibližnou potřebnou kovací sílu

$$S_c = \frac{\pi \cdot (15,2 + 2 \cdot 1,2)^2}{4} = 243 \text{ dm}^2$$

$$F = 0,6 \cdot 243 \cdot 108 \cdot 1,17 = 18423 \text{ N} = 18,4 \text{ MN}$$

Na základě vypočítané přibližné kovací síly můžeme určit Klikový lis s nejbližší, vyšší jmenovitou silou. Musíme však přihlídnout k minimální tloušťce stěny vidlicové příruby 5,7 mm, která nesplňuje hodnotu nejmenší tloušťky stěny 13 mm dle ČSN 42 9030 uvedené v příloze (**tab. 16**). Tenká stěna výkovku má za následek rychlejší chladnutí v poslední části zdvihu, což vyvolává snížení plasticity a zvýšení deformačního odporu materiálu. Z tohoto důvodu volíme jako kovací agregát klikový lis o síle 40 MN.

Operace kování je navržena tímto způsobem:

- Ohřev materiálu v indukčním ohřívači ITO 630 kW na teplotu 1100°C.
- Předehřev kovacích zápustek na teplotu 200 - 300°C.
- Kování na čtyři zdvihy.
- Pěchování – provádí se za účelem odstranění okují vzniklých na ohřátém polotovaru. Pěchovací výška je stanovena na 110 mm, jelikož polotovar musí být menší rozměr, než vnější rozteč vidlic výkovku z důvodů příčného vložení do zápustky.
- Předkování - bude realizováno ve dvou předkovacích zápustkách.
- Dokování - výkovek dostává finální tvar, zápustka musí být umístěna v ose kliky lisu, vzhledem k vyvinutí největší kovací síly.
- Ostřížení výronku – bude provedeno na ostříhovacím lise LDO 500, který je součástí kovací linky.

4.2.6 Tepelné zpracování

Hlavní kritériem návrhu tepelného zpracování výkovku jsou požadované výsledné mechanické hodnoty případně struktura materiálu v závislosti na požadované funkci dílu. Uhlíková ocel C45 umožňuje nahradit nákladné zušlechťení řízeným ochlazením výkovku z dokovací teploty při dodržení meze pevnosti v rozmezí 700 – 850 MPa bez zaručení výsledné struktury. Výkovek vidlicové příruby bude po ostřížení chlazen na válečkovém dopravníku osazeným třemi ventilátory.

4.2.7 Tryskání

Tryskání je proces mechanického opracování povrchu materiálu proudem tryskacího média, které odstraní z výkovku okuje. Pro výkovky nižších hmotností vyráběných ve velkých sériích se využívají bubnové tryskače.

4.2.8 Magnetoskopická kontrola trhlin

Dalším z jakostních požadavků na díl vidlicové příruby je povrch bez trhlin. Jako kontrolní mechanismus musí být zařazena 100% kontrola výkovků nedestruktivní zkouškou magnetickou metodou práškovou. Princip této metody spočívá v nanesení magnetického suchého prášku nebo jeho roztoku suspenze ve vodě na kontrolovaný díl. Následně dojde k jeho zmagnetizování a vystoupení magnetického pole v místě vady

nad povrch zkoušeného materiálu. Na **obr. 11** je patrná indikace trhliny po magnetoskopické kontrole. [14]



Obr. 11 Identifikace trhliny magnetickou metodou práškovou [14]

5 Návrh zápustky

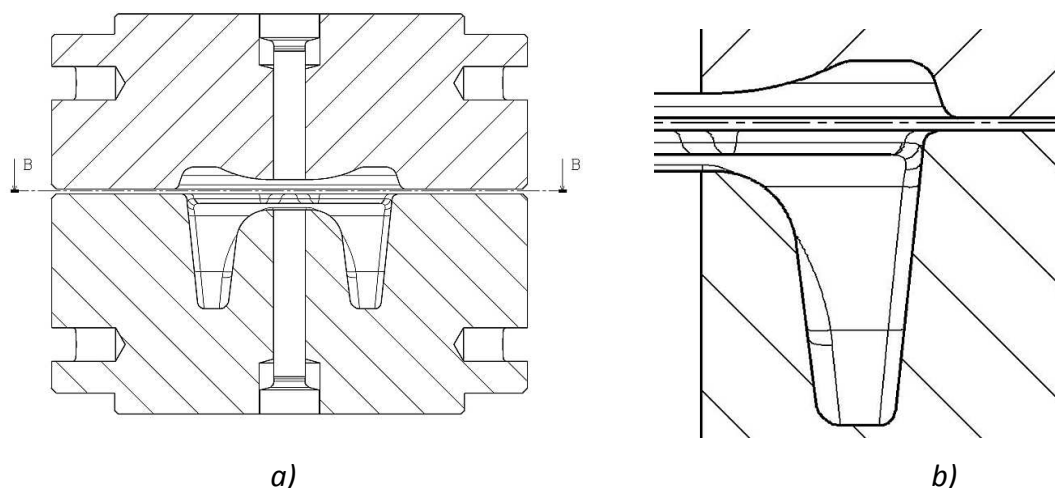
Při návrhu zápustky vycházíme z vytvořeného modelu výkovku a zvolené technologie kování. Rozměry a mezní úchytky se stanovují dle normy ČSN 22 8306, tvar a rozměry výronkových drážek podle firemních zvyklostí a standardů. [13] Zápustkové dutiny jsou navrženy s předpokládanou tepelnou roztažností při jejím ohřevu na kovací teplotu, všechny rozměry budou zvětšeny o 1,5%. V technologickém postupu je operace kování rozdělena na čtyři zdvihy, ze kterých vyplývá následující požadavek na zápustková zařízení.

5.1 Kovadla

Pro operaci pēchování použijeme rovná kovadla, která nebudou konstrukčně navrhována. Jsou vyráběna podle standardizovaných výkresů.

5.2 První operace

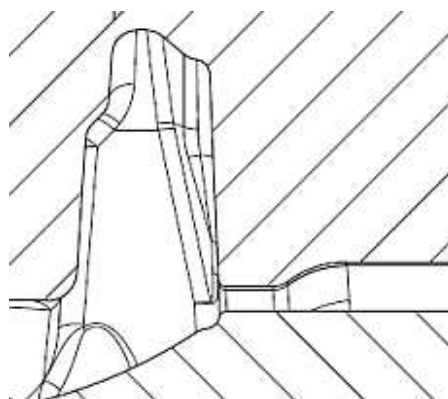
Cílem je vytvořit z polotovaru předkovek tvarem blízkým výkovku, uskutečňuje se v ní největší deformace, která způsobuje značné opotřebení dutiny zápustky. Zásadní vliv na navržení následujících operací je především schopnost zatečení materiálu do dolní části zápustky v oblasti vidlic. Horní část zápustky je navržena atypicky bez výronkového můstku, toto řešení způsobí rychlejší chladnutí vznikajícího výronku a zvýšení odporu proti tečení. Následný růst normálových napětí na povrchu usnadní snazší zatečení materiálu do dolní části kovací dutiny. Řez zápustkou první operace a detail výronkové drážky je uveden na **obr. 12**.



Obr. 12 Předkovací zápustka první operace **a)** řez **b)** detail výronkové drážky

5.3 Druhá operace

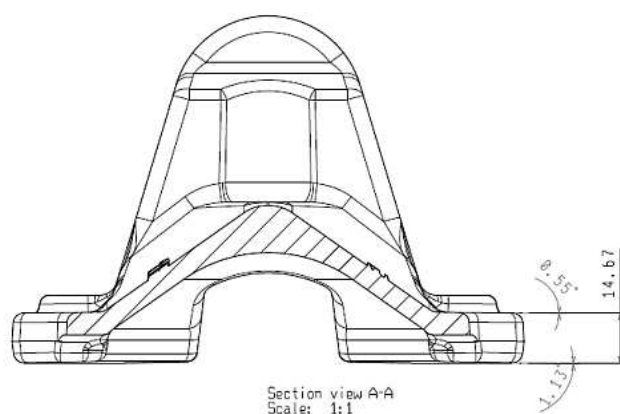
Tvar dutiny má za cíl dosažení tvaru předkovku velmi se blížícímu tvaru hotového dílu. Rozdíl je pouze v celkové výšce dutiny, která je o 2 mm vyšší. Důvodem je minimalizace opotřebení dokovací dutiny při posledním kovací zdvihu. Výronková drážka je již navržena standardním způsobem s otevřeným zásobníkem, detail řezu zápustkou je uveden na **obr. 13**.



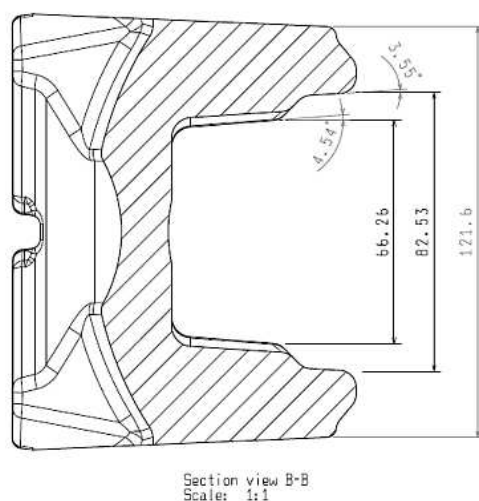
Obr. 13 Řez zápustkou – detail výronkové drážky

5.4 Dokovací zápustka

Při návrhu finální dutiny je nutné vzít v úvahu tvar výkovku a jeho následnou deformaci při ostřížení výronku. Předpokládáme, že síla působící při stříhání bude deformovat disk výkovku a rozteče vidlic. Z tohoto důvodu jsou na zápustce vytvořeny negativní úhly na disku v horní části $0,55^\circ$ a dolní části $1^\circ 13'$. Úkosy na roztečích jsou rovněž zvětšeny na $4^\circ 54'$ a $3^\circ 53'$. Pro ilustraci jsou tyto změny rozměrů uvedeny na modelech dokovací dutiny (**obr. 14. a 15**).



Obr. 14 Model dokovací zápustky – negativní úhly disku



Obr. 15 Model dokovací zápustky – negativní úhly vidlic

6 Simulace kování

6.1 Metoda konečných prvků

Pro simulaci tvářecích procesů se v dnešní době využívá především numerická metoda napěťově deformační analýzy, tzv. metoda konečných prvků (MPK). Pro libovolný deformovaný tvar tělesa je možné určit energii napjatosti z přetvoření a napětí ve všech bodech tělesa. Praktický výpočet probíhá tak, že se geometricky vytvořený model beze zbytku rozdělí na prvky konečných rozměrů. Základním prvkem je čtyřúhelník, v prostoru pak šestistěn. Rohy těchto prvků jsou uzlovými body, v nichž se určují neznámé hodnoty posuvů, strany prvků vytvářejí síť, jejíž hustota je rozhodující pro přesnost výsledků. Současné simulační softwary vytváří vlastní síť, která může být během výpočtu

automaticky měněna v kritických místech tvářeného tělesa. Hustota sítě ovlivňuje konečný výpočet, příliš řídká síť může vést k podhodnocení napětí a nesprávnému výsledku, příliš hustá síť výrazně zvyšuje délku výpočtu. Všem prvkům je třeba zadat parametry materiálu a okrajové podmínky (vazby, zatížení). Následuje spuštění řešiče (*solveru*) - programu, který na základě vstupních hodnot sestaví a vyřeší soustavu rovnic s neznámými posuvy a z nich spočítá přetvoření a napětí. [15]

6.2 Simulace kování vidlicové příruby

Cílem simulace kování vidlicové příruby je ověření vhodnosti navržené technologie a konstrukce zápusťkových dutin. Na výsledcích simulace je hodnocena především iniciace tvorby přeložek a míra dokování v jednotlivých operacích. Před výpočtem musí být zadány potřebné parametry a okrajové podmínky.

Parametry stroje: Poloměr výstředníkového hřídele – 190 mm

Délka ojnice – 1360 mm

Tvářecí síla – 40 MN

Počet zdvihů – 60/min

Okrajové podmínky: Teplota zápusťky – 250°C

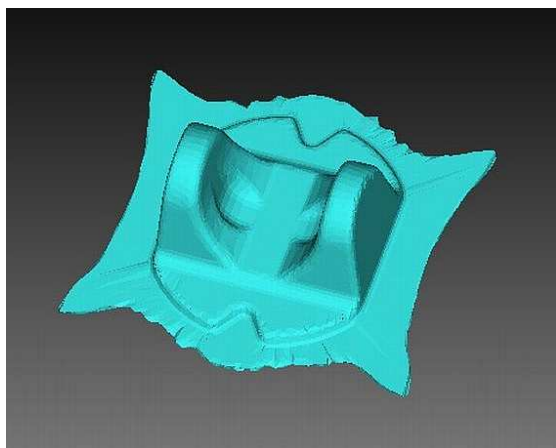
Teplota polotovaru – 1200°C

Koeficient tření – 0,3

Velikost elementů – 4 mm

6.3 Simulace první operace

Při předkování v první operaci je důležité, aby materiál zatekl do oblasti vidlic ve spodní části zápusťky. Na **obr. 15 a)** je možné vidět úplné dotečení na simulovaném modelu, oproti skutečnému předkovku uvedeném na **obr. 15 b)**. Pravděpodobná příčina rozdílu je způsobena různými koeficienty tření při simulaci a v reálných podmínkách a také vyšší teplota polotovaru 1200°C oproti skutečné 1080°C – 1127°C. Rovněž tvar výronku neodpovídá skutečnosti, na obrázcích je vidět jeho opačné šíření po délce a šířce. Důvodem je nepřesnost výpočtu způsobená velkou deformací a napětími působícími v této části, které může být zapříčiněné atypickým řešením výronkové drážky. Iniciace přeložek nebyla při simulaci identifikována v žádném místě.



a)

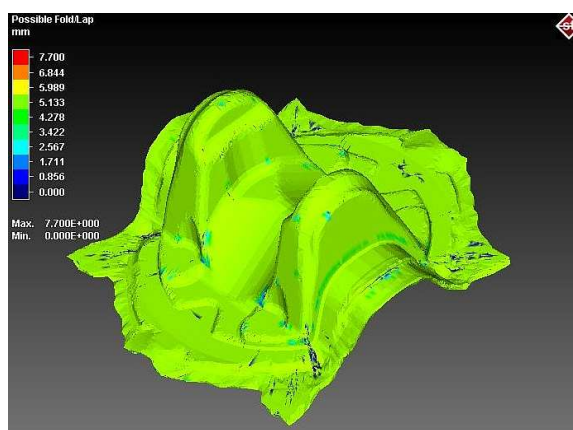


b)

Obr. 15 Předkovek první operace **a)** simulace **b)** kovaný

6.4 Simulace druhé operace

Ve druhé operaci je nutné zaměřit se především na případnou tvorbu přeložek, jejichž riziko roste vlivem posunu dělicí roviny. V první operaci je navržena dělicí rovina přímá, která se v další kovací dutině mění na rovinu lomenou. Tento posun je potenciálním rizikem pro vznik přeložek. Na **obr. 16** je zobrazena simulace druhé operace se stupnicí vyjadřující pravděpodobnost vzniku přeložky, přičemž červená barva označuje nejkritičtější místo jejího vzniku. Na obrázku nejsou patrná žádná místa, která by jevila známky výskytu přeložek, horní část vidlic jsou rovněž dokované. Oba sledované parametry se následně potvrdily i při kovací zkoušce.



Obr. 16 Simulace druhé operace

6.5 Simulace dokovací zápustky

Vzhledem k navrženému tvaru kovacích dutin a předchozím výsledkům simulací lze předpokládat, že již nedojde ke tvorbě přeložek a oblast vidlic bude dokovaná. Výsledná

simulace nám poslouží k porovnání s vykovaným dílem. Zároveň umožní ověřit potřebnou kovací sílu, která je v dokovací dutině nejvyšší. Na **obr. 17** je vidět porovnání simulace a vykovaného hotového dílu, opět je možné pozorovat rozdíly v oblasti výronku.



Obr. 17 Hotový výkovek **a)** simulace **b)** kovaný

7 Mechanické zkoušky

Požadované mechanické hodnoty jsou definovány pro výkovek z materiálu C45, který je řízeně ochlazován z dokovací teploty. Při experimentu byly změřeny pomocí optického pyrometru tyto údaje průběhu kování a následného chladnutí:

$T_{\text{kování}}$ v intervalu 1080°C – 1127°C

$T_{\text{ochlazování počát}}$ v intervalu 920 – 980°C

$t_{\text{chladnutí}}$ na 500°C za 4 minuty

Výsledné hodnoty byly ověřeny provedením tahové zkoušky z jednoho kusu výkovku, jejich porovnání s požadovanými hodnotami jsou uvedeny v **tab. 13**. Zároveň byla změřena tvrdost zkoušeného dílu 238 HB, která po převodu podle normy ČSN EN ISO 18265 odpovídá pevnosti 800 MPa.

Tabulka 13 Mechanické hodnoty materiálu C45 řízeně ochlazeného

Hodnoty	Mez kluzu $R_{e\min}$ [MPa]	Mez pevnosti R_m [MPa]	Tažnost A [%]
požadovaná	370	700 - 850	16
výsledná	494	805	17,3

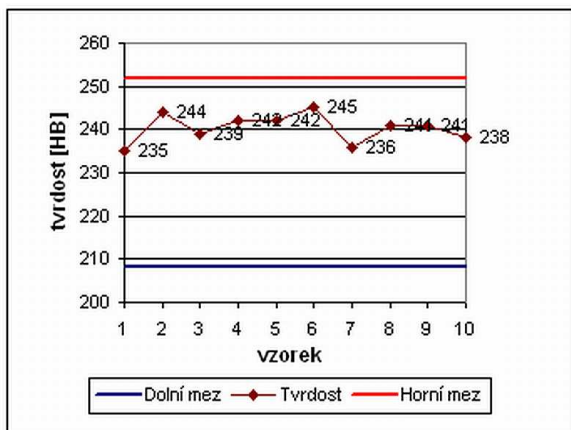
Pro statistické ověření bylo provedeno měření tvrdosti 10 ks výkovků s následným převodem na hodnoty pevnosti, výsledky jsou uvedeny v **tab. 14**.

Tabulka 14 Naměřené hodnoty tvrdosti a pevnosti

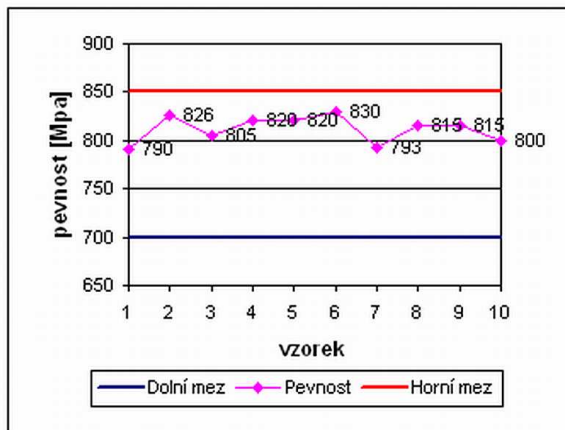
Vzorek	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Tvrdość [HB]	235	244	239	242	242	245	236	241	241	238
Pevnost [MPa]	790	826	805	820	820	830	793	815	815	800

Grafické znázornění změřených tvrdostí je uvedeno v **grafu 1**, dolní mez tvrdosti odpovídá hodnotě 208 HB, horní mez hodnotě 252 HB. Výsledné hodnoty pevnosti jsou vyneseny v **grafu 2**. Materiál použitý pro kovací zkoušku obsahoval 0,50% C, což je horní povolená hranice pro jakost materiálu C45. Vyšší obsah uhlíku v oceli má příznivý vliv na dosažení vyšších hodnot tvrdosti, resp. pevnosti, které se po převodu pohybovaly v rozmezí 790 – 830 MPa.

Graf 1 Hodnoty tvrdosti



Graf 2 Hodnoty pevnosti



8 Metalografické zkoušky

Vzorek uvedený na **obr. 18** byl odebrán pro metalografický rozbor z horní části výkovku vidlice, v místě vyznačeném na **obr. 19**. Následně na něm byla provedena analýza mikrostruktury. Velikosti zrn byly stanoveny podle normy ASTM E112.



Obr. 18 Zkoumaný vzorek

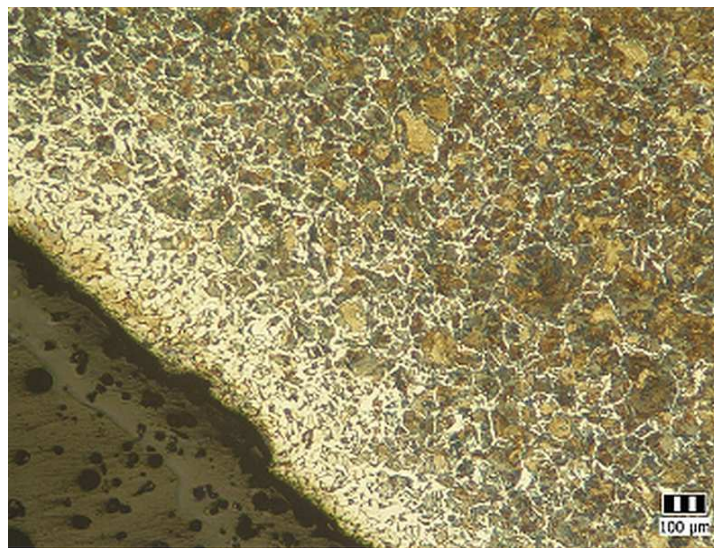


Obr. 19 Místo odběru vzorku

Hodnocení mikrostruktury je rozdělena na dvě části, okrajovou a střední část. Vzorky byly leptány 2% HNO₃, zvětšení 100:1.

Okraj vzorku

Struktura vzorku perliticko – feritická, ferit je vyloučen po hranicích zrn, povrchová oblast vykazuje oduhličení do hloubky 0,2 – 0,5 mm. Velikost zrna se mění směrem ke střední části vzorku, u okraje je zrno místně jemnější o velikosti 6 – 7, směrem ke středu dochází k hrubnutí zrna na velikost 3 – 5, místy se vyskytuje zrno o velikosti 2. Tuto strukturní nerovnoměrnost můžeme vidět na **obr. 20**.



Obr. 20 Mikrostruktura vidlicové příruby – okraj vzorku

Střední část vzorku

Na **obr. 21** je uvedena mikrostruktura vzorku z jeho střední části. Můžeme sledovat zrovnoměrnění struktury, velikost zrna se pohybuje pouze v rozmezí 3 – 5.

Struktura řízeně ochlazené oceli C45 v porovnání s normalizačně žíhaným stavem uvedeným na **obr. 5** vykazuje větší podíl perlitu a nerovnoměrnější zrnitost.



Obr. 21 Mikrostruktura vidlicové příruby – střed vzorku

9 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo vypracování vhodné technologie pro kování vidlicové příruby s následnou aplikací do výroby. V teoretické části práce je popsána problematika kloubových hřídelí, jejíž parametry a způsob použití umožňují navrhnout geometrii, vlastnosti, způsob výroby a jakost materiálu pro vidlicovou přírubu. Dále je popsána teorie zápustkového kování. Jsou zmiňovány především materiály používané na výrobu zápustek a problematika mazání během kování. Obě popsané oblasti se významným způsobem podílí na životnosti nářadí a tím i na celkové ekonomice zápustkového kování.

Předmětem experimentální části bylo navržení nejvhodnějšího tvaru výkovku vidlicové příruby a konstrukce zápustkového zařízení na základě stanoveného postupu. Volba dělicí roviny výkovku byla zvolena na základě praktických zkušeností pracovníků technologie kovárny Moravských železáren. Ze způsobu jejího umístění je očekávána vyšší životnost zápustkových zařízení, která bude vyhodnocena po zavedení kování dílu do sériové výroby. Stěžejní kritérium pro návrh konstrukce nástrojů spočívalo ve vytvoření technologického postupu a volbě kovacího stroje. K jeho určení byl nutný přibližný výpočet kovací síly a vyhodnocení dalších aspektů, zejména pak tvar výkovku a minimální tloušťka stěn. Z tohoto důvodu byl zvolen klikový kovací lis s vyšší kovací silou oproti teoreticky vypočítané síle. Z navrženého technologického postupu a požadavku na vyšší životnost zápustek vyplynula konstrukce nářadí. Za zmínku stojí především návrh první předkovací operace a řešení výronkové drážky bez zásobníku, které se pozitivně projevilo při kovací zkoušce. Správnou volbou se ukázalo i provedení negativních úhlů v dokovací

zápustce, kdy došlo při deformaci po ostřížení výronku a ochlazení výkovku k dosažení žádaných rozměrů. Simulace kování umožnila optimalizaci tvarů kovací dutin, které byly v průběhu návrhu měněny na základě získaných výsledků. V práci je uvedena jejich finální podoba, srovnání simulací a verifikace ve výrobě lze hodnotit jako poměrně uspokojivé. Rozdíly můžeme přičíst nesprávnému stanovení koeficientu tření při tváření a omezené možnosti řešiče (solveru) softwaru provádět výpočty při vysokých napjatostech v oblasti výronkové drážky.

Analýza výsledků tvrdostí vykazuje nepříliš dobrou stabilitu procesu, odpovídající řízenému ochlazování výkovků z dokovací teploty. Výsledné hodnoty tvrdosti blížící se horní dovolené hranici můžeme přičíst vysokému obsahu uhlíku v použité oceli jakosti C45. Přestože nemáme provedeny zkoušky z materiálu s nižším obsahem uhlíku, lze konstatovat, že omezení dolní hranice uhlíku na 0,45 hm. % by mělo zaručit dosažení minimální požadované tvrdosti, resp. pevnosti. Hodnocení mikrostruktury rovněž odpovídá řízenému ochlazování, které z ekonomických důvodů nahrazuje zušlechťení výkovků. Na vzorcích nebyla zaznamenaná výrazná nehomogenita. Výslednou strukturu i přes rozdíly ve velikostech zrn můžeme hodnotit jako přijatelnou.

Celý experiment můžeme hodnotit jako úspěšný, všechny zkoumané parametry byly ověřeny při zkoušce kování. Za méně uspokojivé lze považovat výsledky simulací kování, které úplně neodpovídají skutečnosti. Pro dosažení lepších výsledků bude nutné zpřesnit nastavení parametrů polotovaru a okrajových podmínek tváření.

Seznam použité literatury

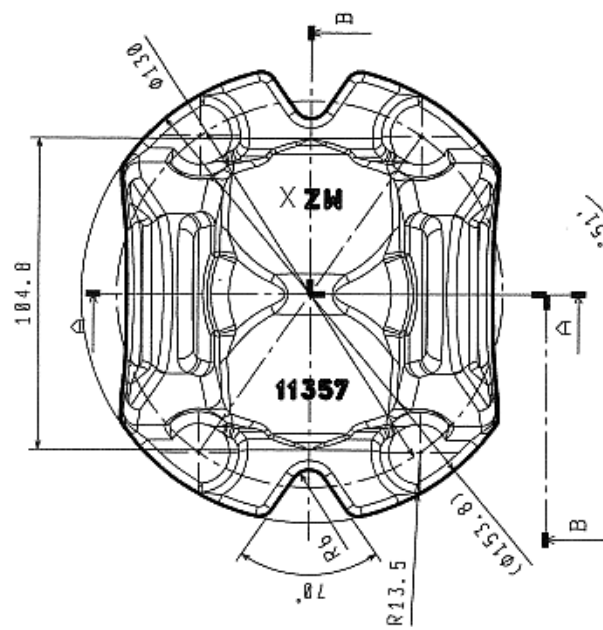
- [1] [Http://www.kardany.cz/kardany/aplikace](http://www.kardany.cz/kardany/aplikace) [online]. 2008 [cit. 2010-03-18]. Kloubové hřídele. Dostupné z WWW: <kardany.cz>.
- [2] [Http://prirucka.bolzano.cz/cz/technicka-odpora/techprirI/tycovaocel/EN10083/](http://prirucka.bolzano.cz/cz/technicka-odpora/techprirI/tycovaocel/EN10083/) [online]. 1998 [cit. 2010-03-18]. Uhlíkové oceli. Dostupné z WWW: <bolzano.cz>.
- [3] KLIBER, J.: *Základy tváření kovů*. skripta VŠB – FMMI, Ostrava, 1985
- [4] ŽÍDEK, M., DĚDEK, V., SOMMER, B.: *Tváření oceli*. SNTL / ALFA, Praha 1988
- [5] KRÍŽ, R.; VÁVRA, P.: *Strojírenská příručka, Svazek 8*. Scientia, Praha, 1998
- [6] EBARA, R., KUBOTA, K.: *Failure analysis of hot forging dies for automotive components*. Engineering Failure Analysis 15 (2008) 881–893.
- [7] SCHNEIDER, B., HERMES, F.: *Mazání kovacích zápustek a stříkací technika – důležitý činitel provozu průmyslových kováren*. Kovárenství duben 2006/27, Brno, 2006
- [8] SHELJASKOW, S.: *Tool lubricating system in warm forging*. Journal of Materials Processing Technology, 113, 2001, p. 16.
- [9] ČSN 42 9030. *Výkovky ocelové zápustkové – přídavky na obrábění, mezní úchyly rozměrů a tvarů*. Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, Praha, 1983
- [10] ČSN EN 10243-1. *Ocelové zápustkové výkovky – mezní úchyly rozměrů*. Český normalizační institut, Praha, 2003
- [11] [Http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/03.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/03.htm) [online]. 2001 [cit. 2010-04-10]. Technologie objemového tváření - kování. Dostupné z WWW: <ksp.tul.cz>.
- [12] [Http://u12134.fsid.cvut.cz/podklady/PRO1/vykovek_zadani.pdf](http://u12134.fsid.cvut.cz/podklady/PRO1/vykovek_zadani.pdf) [online]. 2004 [cit. 2010-04-10]. Zápustkové kování. Dostupné z WWW: <cvut.cz>.
- [13] ČSN 22 9030. *Zápustky pro svislé kovací lisy – technické požadavky na konstrukci*. Český normalizační institut, Praha, 1990
- [14] [Http://www.tediko.cz/index.php?sub=02cz&lang=cz&p=0207cz](http://www.tediko.cz/index.php?sub=02cz&lang=cz&p=0207cz) [online]. 2009 [cit. 2010-04-20]. Technická diagnostika komponent. Dostupné z WWW: <tediko.cz>.
- [15] PARK, K. S., VAN TYNE, CH. J., MOON, Y. H.: *Process analysis of multistage forging by using finite element method*. Journal of Materials Processing Technology, 187–188, 2007, p. 586.

PŘÍLOHY

Tabulka 14 Přidavky na obrábění ploch pro obvyklé provedení

Rozměry v mm

Největší průměr, střední hodnota šířky a délky výrobku ve směru kolmo k rázu		Největší výška hotového výrobku							
		přes	25	40	63	100	160	250	400
		do 25	40	63	100	160	250	400	630
přes	do	Přidavky na obrábění ploch							
	25	1,5	1,5	2,0	2,0	2,0			
25	40	1,5	2,0	2,0	2,0	2,5	2,5		
40	63	2,0	2,0	2,0	2,5	2,5	2,5		
63	100	2,0	2,0	2,5	2,5	2,5	3,0	3,5	
100	160	2,0	2,5	2,5	2,5	3,0	3,5	3,5	
160	250	2,5	2,5	2,5	3,0	3,5	3,5	4,0	4,5
250	400	2,5	2,5	3,0	3,5	3,5	4,0	4,5	5,0
400	630	2,5	3,0	3,5	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5
630	1000	3,0	3,5	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0



Section view A-A
Scale: 2:3

Tolerance a mezní úchytky podle EN 18243-1			
hrající dílečka	hrající dílečka s tlakou	hrající dílečka s tlakou	střední příměrnosti
3, 7 kg	15, 3 kg	S3	M1
rozměr	úchytky	rozměr	úchytky
délka (LANGE) ¹⁾	-	žehla (NAGEL)	výška 1,6 šířka 8,8
šířka-průměr (BREITEN)	+1,8 -0,9	výroněk (GRAT)	výška šířka
výška (HOHE) ²⁾	+1,7 -0,8	zvláštní úchytky	
tloušťka-průměr (DICKE)	+1,7 -0,8	zaplomní přechod a hran dle EN 18243-1	
přezazení (GEBREITUNG) ³⁾	0,6 *	hliníková naručovacího vos dle EN 18243-1	
otřep (GRAT)	0,6 *	nakřivaná úhlová (GESENKUNGSCHARGE)	
průměr a rovinnost ²⁾	0,6 *	nitování (NAGEL) 5 mm dle NAGEL: 7	
úchytky (EIT)	0,8	nakřivaná a naručovacího (NAGEL) 85	
Příměrnost na střednici (GEOMETRIE) 0,3			

1) Pro vnější rozměry se vnitřní navýšením 4 mm nepřesahují ani úchytky a *.
2) Příměrnost a střední úchytky.
3) Rozměry a střední úchytky.

11357 MZ X
301-254-11357
11357 MZ X
301-254-11357

Section view B-B
Scale: 2:3

Obr. 22 Výkres výkovku vidlicové příruby

Tabulka 15 Ocelové zápustkové výkovky kované na bucharech a lisech -Stupeň přesnosti
kování F - Mezní úchytky délky, šířky, výšky a úchytky přesazení, otřepu a
sestřížení

Rozměry v milimetrech

Přesazení	Otřep (+) Sestřížení (-)	Dělicí plocha		Hmotnost (kg)	Stupeň obtížnosti kování		Ukazatel členitosti tvaru				Jmenovité rozměry									
		Nesouměrná	Přímá nebo souměrná				> 0.63 ≤ 1	> 0.32 ≤ 0.63	> 0.16 ≤ 0.32	≤ 0.16	0	> 32	> 100	> 160	> 250	> 400	> 630	> 1 000	> 1 600	
											≤ 32	≤ 100	≤ 160	≤ 250	≤ 400	≤ 630	≤ 1 000	≤ 1 600	≤ 2 500	
											Úchytky ¹⁾									
Nad - do (včetně)	M1	M2	S1	S2	S3	S4														
0,4	0,5			0-0,4								1,1 ^{+0,7 -0,4}	1,2 ^{+0,8 -0,4}	1,4 ^{+0,9 -0,5}	1,6 ^{+1,1 -0,5}	1,8 ^{+1,2 -0,6}	2,0 ^{+1,3 -0,7}	-	-	-
0,5	0,6			0,4-1,0								1,2 ^{+0,8 -0,4}	1,4 ^{+0,9 -0,5}	1,6 ^{+1,1 -0,5}	1,8 ^{+1,2 -0,6}	2,0 ^{+1,3 -0,7}	2,2 ^{+1,5 -0,7}	-	-	-
0,6	0,7			1,0-1,8								1,4 ^{+0,9 -0,5}	1,6 ^{+1,1 -0,5}	1,8 ^{+1,2 -0,6}	2,0 ^{+1,3 -0,7}	2,2 ^{+1,5 -0,7}	2,5 ^{+1,7 -0,8}	2,8 ^{+1,9 -0,9}	-	-
0,7	0,8			1,8-3,2								1,6 ^{+1,1 -0,5}	1,8 ^{+1,2 -0,6}	2,0 ^{+1,3 -0,7}	2,2 ^{+1,5 -0,7}	2,5 ^{+1,7 -0,8}	2,8 ^{+1,9 -0,9}	3,2 ^{+2,1 -1,1}	3,6 ^{+2,4 -1,2}	-
0,8	1,0			3,2-5,6								1,8 ^{+1,2 -0,6}	2,0 ^{+1,3 -0,7}	2,2 ^{+1,5 -0,7}	2,5 ^{+1,7 -0,8}	2,8 ^{+1,9 -0,9}	3,2 ^{+2,1 -1,1}	3,6 ^{+2,4 -1,2}	4,0 ^{+2,7 -1,3}	4,5 ^{+3,0 -1,5}
1,0	1,2			5,6-10								2,0 ^{+1,3 -0,7}	2,2 ^{+1,5 -0,7}	2,5 ^{+1,7 -0,8}	2,8 ^{+1,9 -0,9}	3,2 ^{+2,1 -1,1}	3,6 ^{+2,4 -1,2}	4,0 ^{+2,7 -1,3}	4,5 ^{+3,0 -1,5}	5,0 ^{+3,3 -1,7}
1,2	1,4			10-20								2,2 ^{+1,5 -0,7}	2,5 ^{+1,7 -0,8}	2,8 ^{+1,9 -0,9}	3,2 ^{+2,1 -1,1}	3,6 ^{+2,4 -1,2}	4,0 ^{+2,7 -1,3}	4,5 ^{+3,0 -1,5}	5,0 ^{+3,3 -1,7}	5,6 ^{+3,7 -1,9}
1,4	1,7			20-50								2,5 ^{+1,7 -0,8}	2,8 ^{+1,9 -0,9}	3,2 ^{+2,1 -1,1}	3,6 ^{+2,4 -1,2}	4,0 ^{+2,7 -1,3}	4,5 ^{+3,0 -1,5}	5,0 ^{+3,3 -1,7}	5,6 ^{+3,7 -1,9}	6,3 ^{+4,2 -2,1}
1,7	2,0			50-120								2,8 ^{+1,9 -0,9}	3,2 ^{+2,1 -1,1}	3,6 ^{+2,4 -1,2}	4,0 ^{+2,7 -1,3}	4,5 ^{+3,0 -1,5}	5,0 ^{+3,3 -1,7}	5,6 ^{+3,7 -1,9}	6,3 ^{+4,2 -2,1}	7,0 ^{+4,7 -2,3}
2,0	2,4			120-250								3,2 ^{+2,1 -1,1}	3,6 ^{+2,4 -1,2}	4,0 ^{+2,7 -1,3}	4,5 ^{+3,0 -1,5}	5,0 ^{+3,3 -1,7}	5,6 ^{+3,7 -1,9}	6,3 ^{+4,2 -2,1}	7,0 ^{+4,7 -2,3}	8,0 ^{+5,3 -2,7}
2,4	2,8											3,6 ^{+2,4 -1,2}	4,0 ^{+2,7 -1,3}	4,5 ^{+3,0 -1,5}	5,0 ^{+3,3 -1,7}	5,6 ^{+3,7 -1,9}	6,3 ^{+4,2 -2,1}	7,0 ^{+4,7 -2,3}	8,0 ^{+5,3 -2,7}	9,0 ^{+6,0 -3,0}
												4,0 ^{+2,7 -1,3}	4,5 ^{+3,0 -1,5}	5,0 ^{+3,3 -1,7}	5,6 ^{+3,7 -1,9}	6,3 ^{+4,2 -2,1}	7,0 ^{+4,7 -2,3}	8,0 ^{+5,3 -2,7}	9,0 ^{+6,0 -3,0}	10,0 ^{+6,7 -3,3}
												4,5 ^{+3,0 -1,5}	5,0 ^{+3,3 -1,7}	5,6 ^{+3,7 -1,9}	6,3 ^{+4,2 -2,1}	7,0 ^{+4,7 -2,3}	8,0 ^{+5,3 -2,7}	9,0 ^{+6,0 -3,0}	10,0 ^{+6,7 -3,3}	11,0 ^{+7,3 -3,7}
												5,0 ^{+3,3 -1,7}	5,6 ^{+3,7 -1,9}	6,3 ^{+4,2 -2,1}	7,0 ^{+4,7 -2,3}	8,0 ^{+5,3 -2,7}	9,0 ^{+6,0 -3,0}	10,0 ^{+6,7 -3,3}	11,0 ^{+7,3 -3,7}	12,0 ^{+8,0 -4,0}
												5,6 ^{+3,7 -1,9}	6,3 ^{+4,2 -2,1}	7,0 ^{+4,7 -2,3}	8,0 ^{+5,3 -2,7}	9,0 ^{+6,0 -3,0}	10,0 ^{+6,7 -3,3}	11,0 ^{+7,3 -3,7}	12,0 ^{+8,0 -4,0}	14,0 ^{+9,3 -4,7}

¹⁾ Mezní úchytky jsou 2/3 a 1/3 (zaokrouhlené hodnoty). Znaménka minus a plus v tabulce platí pro vnější rozměry. Pro vnitřní rozměry platí znaménka opačná. Pro vzdálenosti os ±1/2 (viz 5.2.3.2).

¹⁾ Mezní úchytky jsou 2/3 a 1/3 (zaokrouhlené hodnoty). Znaménka minus a plus v tabulce platí pro vnější rozměry.
Pro vnitřní rozměry platí znaménka opačná. Pro vzdálenosti os ±1/2 (viz 5.2.3.2).

Tabulka 16 Nejmenší tloušťka, dna, blány, disku a stěny výkovku

Rozměry v mm

Největší rozměr výkovku ve směru kolmo k rázu (B, D)		Největší výška výkovku H							
		přes	10	25	40	63	100	160	250
		do 10	25	40	63	100	160	250	400
přes	do	Nejmenší tloušťka dna, disku H_1 a stěny s							
	40	4	5	6	7	9			
40	63	5	5	6	7	9	11		
63	100	5	6	7	9	11	13	15	
100	160	6	7	9	11	13	15	17	20
160	250	8	9	11	13	15	17	20	25
250	400	10	13	15	17	20	25	30	35
400	630			20	25	30	35	40	50
630	1000			25	30	35	40	50	60